

PROSIDING

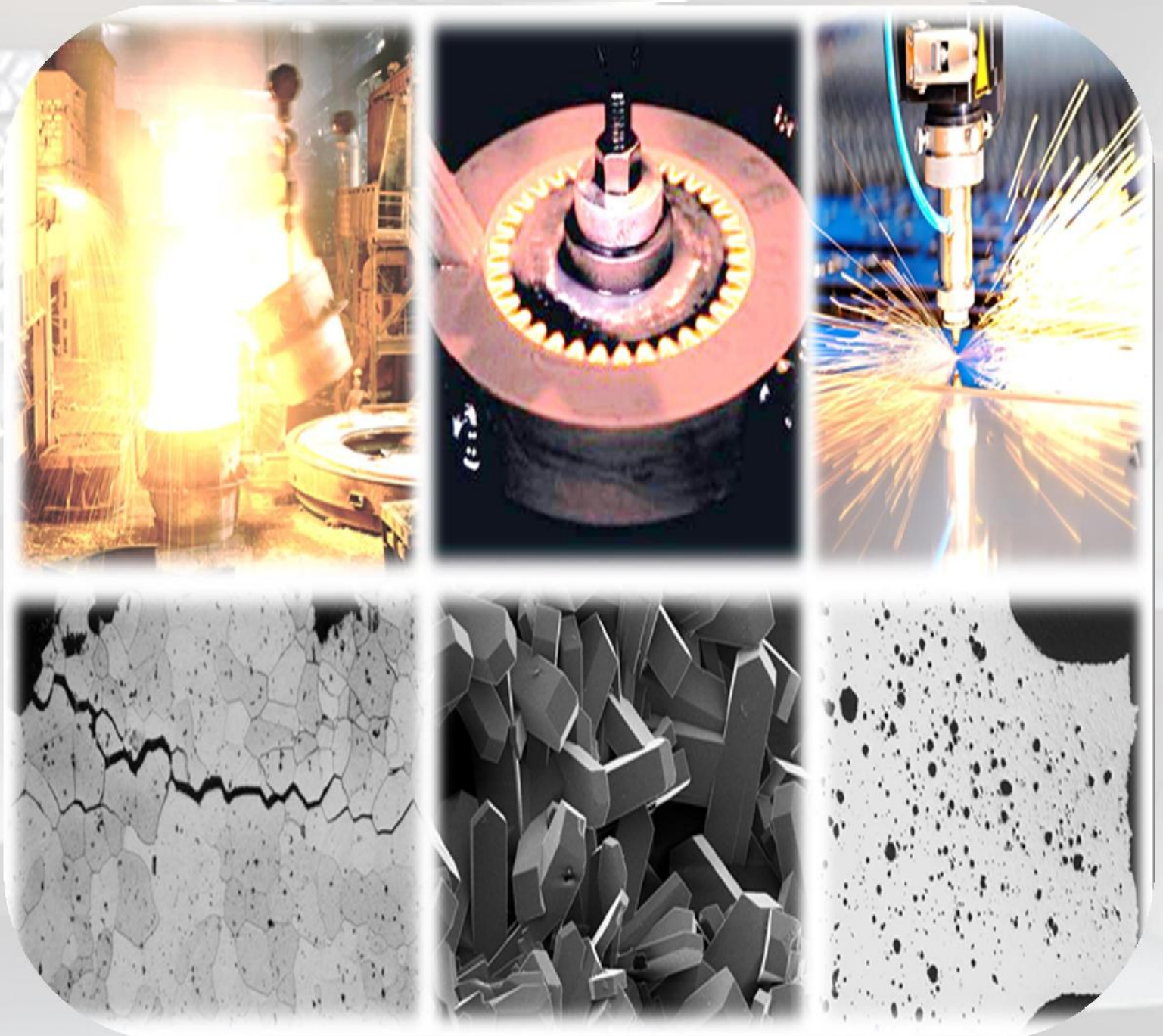
ISBN : 978-602-51621-0-7

e-ISBN : 978-602-51621-1-4

SEMINAR NASIONAL METALURGI & MATERIAL (SENAMM) X 2017

Semarang, 8 Nopember 2017

**“Pengembangan Material Maju & Teknologi Material untuk
Akselerasi Kemajuan Industri Nasional”**



PROSIDING

Seminar Nasional Metalurgi dan Material
(SENAMM) X Tahun 2017

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG, 8 NOPEMBER 2017**

EDITOR DAN REVIEWER

Editor :

1. Dr. Rifky Ismail, ST, MT (Universitas Diponegoro)
2. Deni Fajar Fitryana, ST, MT (Universitas Diponegoro)

Reviewer :

1. Dr. Sulardjaka, ST, MT (Universitas Diponegoro)
2. Dr. Agus Suprihanto, ST, MT. (Universitas Diponegoro)
3. Sri Nugroho, ST, MT, Ph.D (Universitas Diponegoro)
4. Dr. Rusnaldy, ST, MT (Universitas Diponegoro)
5. Ir. Sulisty, MT, PhD (Universitas Diponegoro)
6. Ir. Yurianto, MT (Universitas Diponegoro)
7. Dr. Eng. Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT (Universitas Diponegoro)

PROSIDING

Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) X Tahun 2017

ISBN : 978-602-51621-0-7 e-ISBN : 978-602-51621-1-4 ©2017, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Alamat : Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH. Tembalang Semarang 50275

Telp : +62 247460059 ext. 101

Fax : +62 247460059

Email : mesin@undip.ac.id

Website : <http://www.mesin.undip.ac.id>

SUSUNAN KEPANITIAAN

Pengarah	:	Dr. Jamari, ST, MT Dr. Sulardjaka, ST, MT
Organizing Committee:		
Ketua	:	Dr. Agus Suprihanto, ST, MT.
Wakil Ketua	:	Sri Nugroho, ST, MT, Ph.D
Sekretaris 1	:	Dr. Rifky Ismail, ST, MT
Sekretaris 2	:	Deni Fajar Fitryana, ST, MT
Bendahara	:	Dr. Rusnaldy, ST, MT
Sie Acara	:	Ir. Sulistyoy, MT, PhD Ir. Yurianto, MT
Sie Perlengkapan	:	Norman Iskandar, ST, MT Mochammad Ariyanto, ST, MT Arik Prasetyo
Sie Transportasi	:	Dr. Eng. Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT Agus Saryono
Sie Dokumentasi	:	Yusuf Umardani ST, MT Ari Gunaji
Sie Konsumsi	:	Ir. Eflita Yohana, MT, Ph.D
Sekretariat	:	Nita Kurniawati, A.Md Dani Hidayati, A.Md

8 November 2017

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas Rahmat dan Nikmatnya sehingga dapat terselenggaranya Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) Ke-X tahun 2017. Seminar yang bertema “Pengembangan Material Maju dan Teknologi Material untuk Akselerasi Kemajuan Industri Nasional” merupakan seminar rutin yang diadakan oleh badan kejuruan material Indonesia dan pada tahun 2017, UNDIP Semarang bertindak selaku tuan rumah. Tema tersebut dipilih dengan alasan untuk memberikan perhatian pada akademisi tentang pentingnya pengembangan dan penguatan teknologi material dan metalurgi untuk mendukung kemajuan industri nasional dalam menghadapi perkembangan ekonomi dan politik global, khususnya MEA (Masyarakat Ekonomi Asean).

Pertama-tama, atas nama panitia pelaksana, kami mengucapkan terima kasih yang tulus atas bantuan tenaga, pemikiran, moral, dan material kepada seluruh pihak yang telah mendukung berlangsungnya seminar ini. Seminar ini diikuti oleh berbagai kelompok mulai dari dosen, mahasiswa, pelaku industri, peneliti, dan pengambil keputusan pemerintah. Kami menerima 101 makalah ilmiah untuk disajikan dalam seminar dan nantinya akan diterbitkan dalam prosiding dan Jurnal Material Metalurgi Indonesia (JMMI). Pada seminar kali ini, kami mengundang pemakalah utama yaitu: Dr.Ir.Susanto Sudiro, MSc (Wakil Direktur pengembangan pendidikan dan laboratorium PT. Mega Andalan Kalasan); dr. Iwan Budiawan Anwar, SpOT(K) (RS. Ortopedi Prof. Dr. R. Soeharso Surakarta) dan M. Arif Sambodo, SE, MSi.(Kepala dinas Perindustrian dan perdagangan Jawa Tengah).

Akhir kata, mari kita bersama meningkatkan daya saing bangsa melalui karya nyata khususnya melalui pengembangan dan penguatan teknologi material dan metalurgi. Semoga artikel-artikel dalam prosiding SENAMM X bermanfaat bagi pihak - pihak yang membutuhkan.

Semarang, 5 Januari 2018

Ketua Pelaksana,

Dr. Agus suprihanto, ST, MT

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
) Studi Optimasi Pelarutan Dolomit Menggunakan Asam Klorida Ahmad Royani	1
) Pembuatan Filamen Komposit <i>Polypropylene</i> High Impact Berpenguat Serat Rami Dengan Mesin Ekstrusi Sederhana Nur Desri Srah Putri, Mardiyati, Rochim Suratman, & Steven	9
) Pengaruh Berat Molekul Terhadap Ketahanan Termal, Absorpsi Air Dan Kemampuan Biodegradasi Plastik Selulosa Teregenerasi Dari Kapas Limbah Industri Tekstil Raden Reza Rizkiansyah, Mardiyati, & Steven	16
) Potensi Lignin <i>Hardwood</i> Sebagai Substitusi Sebagian Bahan Pengisi Silika Terhadap Kemampuan Proses Dan Ketahanan <i>Aging</i> Pada Vulkanisat Ban Louis Sonna Martuah Purba, Mardiyati, & Devi Herlianty	29
) Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Bio-Komposit Serat <i>Sansevieria</i> <i>Trifasciata/Polypropylene</i> Apang Djafar Shieddieque, Mardiyati, Rochim Suratman, & Bambang Widyanto	39
) Ekstraksi Dan Pemurnian <i>Organosolv Lignin</i> Dari Limbah Serbuk Kayu Meranti Steven, Mardiyati, Silvia Mar'atus Shoimah, Arif Basuki, & Rochim Suratman	47
) Sintesis Nanopartikel Karbon dengan Metode Kominusi untuk Pembuatan Media <i>Quench</i> Berdasarkan Nanofluida M.B. Yusuf, A.A. Ambari, I.T. Aryani, E.Nuraini, G. Ramahdita, S.Harjanto, &W.N. Putra	56
) Aplikasi Metoda Polarisasi Untuk Pengukuran Ketahanan Korosi Baja Lapis Listrik Nanokristal Nikel Rini Riastuti, Sonia Taruli Siallagan, Achmad Rifki, Falah Herdino, & Cika Ramadini	66
) Pengaruh Lignin <i>Softwood</i> Sebagai Bahan Pengganti Resin Terhadap Kemampuan Proses Dan Sifat Mekanik Vulkanisat Tapak Ban Daniel Aditya Putra, Mardiyati, & Devi Herlianty	75

8 November 2017

-
- J Studi Metoda Polarisasi Untuk Mengukur Ketahanan Korosi Baja SPCC Dengan Deposit Nano Hasil Lapis Listrik Nikel Beraditif *Sodium Sitrat*
Rini Riastuti, Cika Ramadini, Falah Herdino, Achmad Rifki, & Sonia Taruli Siallagan 84
- J Pengaruh Penambahan Surfaktan Pada Nanopartikel Karbon Arang Untuk Pembuatan *Nanofluida* Sebagai Media *Quench*
A. N. Haqoh, S. Trixie, F. A. Syauqi, A. Alfarizi, M. Naufalino, G. Ramahdita, S. Harjanto, & W.N. Putra 93
- J Pemotongan Rantai Polimer MEH-PPV Dengan Radiasi UV
Mardiyati 99
- J Pengaruh Partikel Nano TiO₂ Pada Paduan Mg-Al-Zn Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Melalui Proses *Thixoforming*
Kusharjanto, Supono Adi Dwiwanto, Irwan Syah Bana, & Adi Ganda Putra 106
- J Analisa Sifat Termal Komposit Epoksi Berpengisi Nanopartikel Sn-3,5 Ag Dengan Perlakuan Waktu Sonikasi
Dwiyanti Yanyan, & Partuti Tri 119
- J Pengaruh Variasi *Filler Metal* Terhadap Struktur Mikro Dan Distribusi Kekerasan Pada Proses Pengelasan GTAW Pada Baja Karbon Rendah Dengan Baja Tahan Karat 304l
Rilwanu Lukman Amrullah, & Rochim Suratman 129
- J Pengaruh Penambahan *Inhibitor* Organik Dari Ekstrak Daun *Tahongai (Kleinhovia Hospita Linn.)* Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1040 Pada *Monopole Wind Turbine* Di Lingkungan HCl 0.1 M
Shaimah Rinda Sari, Eli Novita Sari, Yunita Triana, & Sulistijono 139
- J Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi Pada Implan *Pedicle Screw* Ti-6Al-4V
Husaini Ardy, & Deri Andika Bangun. 148
- J Monitoring Proses Flotasi Kolom Bijih Sulfida Menggunakan Sinyal Kapasitansi Dengan Variasi Ukuran Partikel Dan Laju Alir Udara
Didied Harjono, Sri Harjanto, M. Kidam Hady, Soesaptri Oediyani, Harisma Nugraha, Mahfudz A. Huda, & Warsito P. Taruno 157

8 November 2017

) Pengaruh Temperatur Pemanasan terhadap Perubahan Kekerasan Material <i>Bearing</i> JIS G4805 SUJ 4 Husaini Ardy, & Muhammad Giffary Meirza Hanggoro.	166
) Analisa Kegagalan Pipa Radiator Paduan Tembaga Pada Generator Diesel Cadangan Akibat Dezinfeksi Husaini Ardy, & Aditianto Ramelan	177
) <i>The Effect Of Magnesium And SiC Addition On The Making Of Al-SiC Composite</i> Budi H. Setiamarga, Puti K. Sudarsono, & Cecep Ruskandi.....	184
) <i>Microstructures & Impact Strength Of Nanosic-Reinforced Aluminum A356 With Sr Modifier Fabricated By Stir Casting Method</i> Donanta Dhaneswara, Farhan Delayori, Muhammad Tsabit Ayman, & Anne Zulfia Syahria	192
) Pemodelan Perubahan Fasa Antara Pada Proses Reduksi Langsung Bijih Besi Menggunakan Metode Deret <i>Taylor</i> Anistasia Milandia, Maulia Angraeni, & Yanyan Dwiyanti	200
) Pengaruh Penambahan Cu Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-8Zn-4Mg Berpenguat SiC Hasil <i>Squeeze Casting</i> Maseska Fatma Syarida, Risly Wijanarko, Dwi Rahmalina, Bondan Tiara Sofyan	217
) Peran Parameter Perlakuan Panas <i>Quench</i> Dan <i>Temper</i> Pada <i>Quenched Hrp Steel</i> Dalam Pembuatan Baja <i>Armor</i> Yurianto, Pratikto, Rudy Sunoko, & Wahyono Suprpto.....	227
) Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Dan Morfologi Serat Ijuk (<i>Arenga Pinnata</i>) Dan Sabut Kelapa (<i>Cocos Nucifera</i>) Irwan Suriaman, Mardiyati, Jooned Hendrarsakti, & Ari Darmawan Pasek.....	236
) Perancangan Dan Pembuatan Mesin <i>Metal Injection Molding</i> Untuk Aplikasi Braket Ortodonti Ahmad Ashari, Sefrika Tri Ayuningtyas, Tamie Widjaya, Sugeng Supriadi, & Bambang Suharno	244

8 November 2017

J	Pengaruh Perlakuan Air Kapur Terhadap Karakteristik Serat Limbah Pelepah Salak Sebagai Penguat Komposit Wahyu Purwo Raharjo, Rudy Soenoko, Anindito Purnowidodo, & Moch Agus Choiron ..	255
J	Studi Awal : Peningkatan Kadar Titanium Oksida Pada Limbah Terak Timah Bangka 2 Sulaksana Permana, Johny Wahyuadi Soedarsono, Ahmad Maksum, & Kurnia Setiawan Widana.....	268
J	Fabrikasi Komposit <i>Hybrid</i> Sebagai Substitusi Komponen <i>Bearing</i> Agus Pramono, Anne Zulfia, & Koswara	282
J	Studi Pengaruh Pengelasan Terhadap Perilaku Korosi Pada Material API 5L X65 Dengan Metode Polarisation Dan Imersi Bambang Widyanto, & Ainun Ahmad Dzikri Jatmiko	295
J	Studi Pengaruh Lingkungan Korosif CO ₂ Terhadap Perilaku Ketahanan Lelah Untuk Material Baja Karbon Rendah Pada Temperatur Kamar Dan Kondisi Terbuka Bambang Widyanto, & Dery Kurniawan	305
J	Pengaruh Variasi Temperatur <i>Post-Weld Heat Treatment</i> Terhadap Struktur Mikro Dan Distribusi Kekerasan Pada Proses Pengelasan GTAW Baja Karbon Tinggi Dengan <i>Filler Metal</i> ER308 Muhammad Fidel Adriana, & Rochim Suratman	313
J	Karakterisasi Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru Dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Diameter 1.4 Mm Satu Arah Berfraksi Volume 2.5, 5.0, Dan 7.5 % Hesti Ibrahim, Irene Angela, & Bondan Tiara Sofyan	323
J	Aplikasi <i>In Dies Sintering</i> Untuk Pengolahan Limbah Kemasan Plastik/ <i>Aluminum Foil</i> Menjadi Produk Papan Partikel Heru Sukanto, & Triyono.....	332
J	Pengaruh Perlakuan Panas Dua Tahap Pada Baja Mangan GXMn12 Untuk Peningkatan Ketangguhan Budi H. Setiamarga, Jonathan Martin, Hakim Ginanjar, & Ery Hidayat.....	343

8 November 2017

J Pengaruh Penambahan CaO Dan Metakaolin Terhadap Kekuatan Tekan Campuran Ca(OH) ₂ /SiO ₂ Aditianto Ramelan, Abdul Rozaq, Riska Rachmantyo, Adhi S Nugroho, Frederikus Niko Sutandi, & Teti Indriati	352
J Pengaruh Waktu <i>Blending</i> Mekanik Terhadap Karakteristik Serat Selulosa Dari Sekam Padi Hasil <i>Bleaching</i> Aldhi Saputro, Imelda Verawati, Rizkijanuar Ramadhan Saputro, Ghiska Ramahdita, & Mochamad Chalid.....	362
J Pengaruh Penambahan Aditif Silika (SiO ₂) Pada <i>Coating</i> Lignin Terhadap Performa Daya Lekat, Kekerasan Dan Fleksibilitas Adam D. Tanjung, Mardiyati, & Septian D. Putra.....	371
J Pengaruh Penambahan <i>Lignin</i> Pada <i>Blending</i> Bioplastik Pati Tapioka/ <i>Lignin</i> Terhadap Sifat Mekanik, Sifat Degradasi Tanah, Dan Ketahanan Air Darmawan Muhaimin, Mardiyati, & Steven.....	381
J Pengaruh Penambahan <i>Doping</i> TiO ₂ terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Material Mg-Al-Zn R.Henny Mulyani, & Sri Mulyati Latifah.....	389
J Potensi Silika Dari Limbah Sekam Padi Sebagai Aditif Pada <i>Coating</i> Berbahan Dasar <i>Lignin</i> Septian D. Putra, Mardiyati, Steven, & Silvia M. Shoimah.....	400
J Pengaruh <i>Die Drawing</i> Terhadap Sifat Mekanik <i>Polyethylene</i> Iman Saefuloh, & Haryadi	409
J Peningkatan Kekerasan Baja Karbon Rendah dengan Menggunakan Cangkang Telur M. Fajar Sidiq, M. Agus Shidiq, & Soebyakto	418
J <i>Performance Modification Of Magnesium Anodes By Heat Treatment</i> Asep Ridwan Setiawan, & Arif Basuki.....	427
J Alternatif Proses Pelapisan Tebal Pada Proses Remanufaktur Rod Silinder Hidrolik Taufiqullah, R.D. Ramdan, Y. Yuwana, A Ramelan, R. Setiawan, & R. Suratman	435
J <i>High Temperature Corrosion Behaviour Of Ti-6Al-4V In The Presence Of KCl Deposit</i> Billiawan, Asep Ridwan Setiawan, & Rochim Suratman.....	443

8 November 2017

J Studi Pelindian Bijih <i>Galena</i> Morowali Dalam Larutan <i>Ferric Methanesulfonate</i> Muhammad ‘Afif, & M. Zaki Mubarak.....	452
J Pemanfaatan Limbah Oksida Besi Hasil Pengrajin Pandai Besi untuk Magnet Permanen Toto Rusianto, & Hary Wibowo.....	466
J Karakterisasi Sambungan <i>T</i> Hasil Pengelasan MIG Pada Baja Dengan Variasi Ukuran <i>Fillet</i> Yustiasih Purwaningrum, Dwi Darmawan, & Panji Lukman Tirta Kusuma	481
J Analisa Pengerasan Permukaan Spesimen <i>Bushing</i> S45c Dengan Metode <i>Quenching</i> Media Celup Air Menggunakan Mesin Induksi Dan <i>Tempering</i> Menggunakan Mesin <i>Furnace</i> Muhammad Dzulfikar, Helmy Purwanto, Ferdi Andika, & Rifky Ismail	490
J Estimasi Kestabilan Sifat Keramik Basis Silikat Dalam <i>Sintering</i> Tungku LPG Jenis <i>Swing</i> <i>Counter Flame</i> Wahyono Suprpto	498
J Pengaruh Temperatur Penuangan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Al-Si Pada Cetakan Logam Mochamad Arif Irfa’I, Dzulkiflih, Diah Wulandari, & Wahyono Suprpto	508
J <i>Fabrication Of Aluminium Composite AA 354.0 (Al-Si-Cu) With Al₂O₃ Particle Reinforce</i> <i>Using Stir Casting Method</i> Vinda Puspasari, Rochim Suratman, & Asep Ridwan Setiawan.....	515
J Pengujian Performen Mesin Las Gesek Hasil Rancang Bangun Melalui Pengujian Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Gesek Poedji Haryanto, Adhy Purnomo, & Carli	524
J Rancang Bangun Mesin Las Gesek Untuk Skala Laboratorium Poedji Haryanto, Bambang Cahyono, & Supandi.....	533
J Pegaruh Waktu Dan Suhu Pembuatan Karbon Aktif Dari Eceng Gondok Sebagai Upaya Pemanfaatan Gulma Dengan Suhu Tinggi Secara Pirolisis Arief Henry Kurniawan, Rita Dwi Ratnani, Suwardiyono, & Imam Syafa’at	541
J Analisis Impak Dan <i>Ricochet</i> Peluru <i>Frangible</i> Cu-10wt%Sn Dengan Metode <i>Meshless</i> <i>Smoothed Particle Hydrodynamics</i> Mas Irfan P. Hidayat, Widyastuti, & Peniel Simaremare	551

8 November 2017

) Proses Daur Ulang Limbah Kaleng Aluminium Dengan Metode <i>Salt Fluxing</i> Tiara Triana, Andinnie Juniarsih, & Nova Dwi Prihadi	560
) Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap Komponen Pesawat Terbang Noviana Utami C. S, Yuyu Sri Rahayu, & Rochmadi	568
) Pengaruh Variasi Kecepatan Pengelasan GMA Baja Tahan Karat Austenitik AISI 316l Terhada Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Gunawan Dwi Haryadi, & Deni Fajar.....	576
) Analisis Kegagalan <i>Crankpin</i> pada Sepeda Motor 125 cc Sri Nugroho, Sulardjaka, & Krenius	582
) Analisis Kegagalan <i>Camshaft</i> Pada Sepeda Motor Berkapasitas 125 CC Sri Nugroho, Sulardjaka, & Saut Remanto	591
) Analisis Kekerasan Coran Paduan Aluminium Dengan Paduan Zn Dari Silinder <i>Roll</i> Fotocopy Dengan Cetakan Logam Indreswari Suroso.....	603
) Pengaruh Persen Reduksi Dan Temperatur Anil Terhadap Kinetika Rekrystalisasi Dan Kekerasan Baja Lembaran Karbon Rendah Pada Proses <i>Continuous Annealing Line (CAL)</i> Yeni Muriani Zulaida, Firman Adiyatma, & Muhammad Fitrullah.....	614
) Sintesis Serbuk Tembaga Dengan Metode Elektrolisis: Studi Perilaku Elektrokimia Dan Karakterisasi Serbuk M. Zaki Mubarak, Lucky Nugroho Aji, & Soleh Wahyudi	623
) Studi Pengaruh Penambahan Karbon dan Kromium Terhadap Ketahanan Aus Erosi Intermetalik FeAl Hasil <i>Planetary Ball Milling</i> Slameto Wiryolukito, Jonathan Sebastian, & Djoko Hadi Prajitno	633
) Pengaruh Perlakuan Panas Nyala Api Terhadap Kenaikan Dan Keseragaman Nilai Kekerasan Pada Material Pisau APPO Norman Iskandar, Rifky Ismail, Deni Fajar Fitriyana, & Bambang Parada Nugraha Malau	643
) Pengaruh Proses Pembentukan Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja Tahan Karat <i>Martensitik</i> Toni Bambang Romijarso, Bintang Adjiantoro, & Efendi	656

8 November 2017

J	Efek Modifikasi Cetakan Terhadap Pembuatan Batang Piston Dinding Tipis Rianti Dewi Sulamet Ariobimo, Muhammad Fadlan, Tono Sukarnoto, Yoska Oktaviano, & Yusep Mujalis.....	667
J	Efek <i>Kirkendall</i> Pada Kopel Difusi Gelas Metalik Dan Logam Kristal Daisman P.B. Aji, & Ersan P. Muslih.....	676
J	Penerapan Mesin <i>CNC Router 3-Axis</i> Untuk Pembuatan Produk Industri Kreatif Berbasis Teknologi Bahan Aluminium Suharto, Sisworo, Ariawan W Pratomo, & Bambang Tjahono.....	689
J	Rekayasa Dan Manufaktur Material Untuk Meningkatkan Ketahanan Balistik (Review Artikel) Helmy Purwanto, Rudy Soenoko, Anindito Purnowidodo, & Agus Suprpto	700
J	Sintesa Dan Karakterisasi Material <i>Cermet</i> ($Ti_{1-x}Mo_x$)C-(Ni,Cr) Melalui Pemaduan Mekanik Suryana, Azwar Manaf, & Muhammad Anis	709
J	Studi Potensi <i>Brine Water</i> Dari Dieng Untuk Pengembangan Material Baterai Litium Eko Sulistiyono, Latifa Hanum Lalasari, Wahyu Mayangsari, Lia Andriyah, & Agus Budi Prasetyo	717
J	Pengaruh Suhu <i>Quenching</i> Dan Suhu <i>Tempering</i> Terhadap Ketahanan Korosi Baja <i>Martensitik</i> Modifikasi 410-3Mo3Ni Untuk Aplikasi Sudu Turbin Uap Efendi Mabruuri, Arini Nikitasari, Moch. Syaiful Anwar, & Toni B.Romijarso.....	727
J	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Korosi Sumuran Baja Tahan Karat Austenitik Fe25Ni15Cr Moch. Syaiful Anwar, Berli Mulya, Soesaptri Oediyani, & Efendi Mabruuri.....	736
J	Studi Pengaruh Laju Pemanasan Pada Proses Kalsinasi Terhadap Kemurnian Silika Dari Sekam Padi Ahmad Maksum, Hamdi, Sulaksana Permana, Muhammad Azka Fariky, Panggih Dwi Raharjo, & Johny Wahyuadi Soedarsono.....	742
J	Analisis Distorsi Pada Baja Aisi 4140 Berbentuk <i>C-Ring</i> , <i>O-Ring</i> Dan <i>Disc</i> Setelah Mengalami Proses Perlakuan Panas Rusnaldy, & Hidayat Nur Arkhamtito.....	751

- J Analisis Kekerasan Dan Struktur Mikro Camshaft Mesin Kendaraan Pedesaan Pasca Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanasan Induksi Statik
Rifky Ismail, Muizuddin Azka, Gunawan Dwi Haryadi, Sri Nugroho..... 761
- J Pengujian Kekuatan Tarik Dan Impak Terhadap Material Bucket Teeth Excavator Yang Mengalami Quenching Dan Tempering Menggunakan Tungku Pemanas
Rifky Ismail, Rudi Risbianto, Mohammad Tauviquirrahman, Sugiyanto, A.P. Bayuseno .. 771
- J Analisa Efektifitas *Polyethylene* Dan *Polypropylene* Sebagai *Top Coat* Pada Metode Pelapis 3 *Layer Coating* Terhadap Ketahanan Korosi Dari Baja API 5L Grade B
A.Purniawan, Y.S.M. Siahaan, B.A. Kurniawan..... 781
- J Aplikasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Untuk Perbaikan Pipa Kondisi Resiko Tinggi Melalui Pengembangan Perangkat Lunak
Hermawan Judawisastra, Galih Sekarnurani Setyabrata 796
- J Studi Ketahanan Aus Gesek Pada Baja *High Strength Low Alloy* (HSLA) En 10025-S890QL
Husaini Ardy, Retnadiyah Puteri Utami 807
- J Pemetaan Korosi Menggunakan Rapid Motion Scanner (RMS) Dan Asesmen FFS-FEA Pada Tangki Penyimpanan
Ekha Panji Suryana Dan Muhamad Agus Kariem817

Studi Optimasi Pelarutan Dolomit Menggunakan Asam Klorida

Ahmad Royani

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Tangerang Selatan –
Banten.

ahmad.royani@lipi.go.id

ABSTRACT

The optimum condition for leaching calcined dolomite ore in aqueous hydrochloric acid solutions was determined in this study. The process parameters referred to the acid concentration, the temperature and leaching time. The leaching experiments were performed in a spherical glass batch reactor having a capacity of 1000 mL. The experimental results show that the calcined dolomite ore leaching efficiency increases with addition of acid concentration, temperature and leaching time increases. The optimum results were achieved at 75 °C for 5 h, and the acid concentration of 2 M HCl. The leaching efficiency of Calcium reached 87.12% while Magnesium dissolved was 85.69% under the above optimal conditions.

PENDAHULUAN

Mineral dolomit merupakan salah satu batuan alam berbasis karbonat yang terdiri dari mineral kalsit (CaCO_3) dan mineral *magnesite* (MgCO_3). Nama mineral dolomit berasal dari nama ahli mineral dari Perancis yang bernama Deodat De Dolomieu. Dolomit mempunyai rumus kimia $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$, pada umumnya menunjukkan kenampakan warna putih namun demikian ada juga yang berwarna keabu-abuan, kebiruan dan warna kuning muda. Memiliki berat jenis antara 2,8 – 2,9 g/ml dan bersifat lunak dan mudah menyerap air [1]. Dolomit banyak digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri maupun bidang pertanian seperti untuk bahan pembuatan bata api, campuran pembuatan besi-baja, filler dalam cat ataupun sebagai bahan kimia [2]. Cadangan potensi mineral dolomit di Indonesia tersebar mulai dari propinsi di Aceh hingga ke Papua dengan karakteristik yang berbeda-beda. Penyebaran dolomit yang cukup besar terdapat di Propinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Madura serta Papua [3]. Pemanfaatan mineral dolomit yang terdapat di Indonesia masih hanya sebatas untuk keperluan pembuatan pupuk dolomit dan bata dolomit untuk keperluan bahan bangunan.

Proses pengolahan dolomit pada industri umumnya melalui proses dekomposisi termal dan proses pelarutan asam-pirohidrolisis. Pada proses dekomposisi termal, dolomit biasanya dipanaskan pada temperatur tertentu dalam tekanan gas CO₂ yang berbeda untuk menghasilkan dekomposisi fasa MgO dan CaO. Penelitian proses pengolahan dolomit untuk memproduksi magnesita (MgO) dan kalsin (CaO) telah banyak dilakukan melalui proses dekomposisi termal [4-7]. Sedangkan proses yang kedua umumnya melalui tahapan pelarutan asam, proses karbonisasi dan pirohidrolisis. Proses pelarutan dolomit dalam larutan asam klorida merupakan tahapan awal untuk memperoleh larutan kaya akan kalsium dan magnesium [8-10]. Sehingga proses pelarutan memegang peranan penting dalam mengekstraksi logam Ca maupun Mg dari dolomit.

Penelitian – penelitian mengenai pelarutan dolomit masih jarang dilakukan. Kinetika pelarutan magnesit dengan Cl₂ dalam air dikendalikan oleh proses difusi melalui lapisan produk [9]. Studi pelarutan dolomit dari Nigeria dengan menggunakan asam klorida juga dikendalikan oleh proses difusi [10]. Penelitian pelarutan dolomit Nigeria difokuskan untuk mengetahui pengaruh dari konsentrasi asam, temperatur reaksi dan ukuran partikel. Hasil optimum dari penelitiannya didapat pada temperatur 80 °C, konsentrasi asam 2 mol/L dan ukuran partikel -0,01 mm dengan nilai efisiensi pelarutan sebesar 99,3%. Temperatur proses pelarutan dan perbandingan larutan HCl-dolomit mempunyai dampak yang signifikan terhadap proses pelarutan dolomit [11]. Hasil penelitian pada pelarutan dolomit Turki menyatakan bahwa kecenderungan perolehan Ca⁺ dan Mg⁺ semakin meningkat jika rasio larutan asam-dolomit semakin tinggi. Peningkatan temperatur juga dapat meningkatkan perolehan Ca⁺ dan Mg⁺ karena semakin meningkatnya laju reaksi dan mudahnya bereaksi pada temperatur yang lebih tinggi. Energi aktivasi yang didapatkan dalam penelitiannya sebesar 16,69 kJ.mol⁻¹. [10].

Pada penelitian ini dilakukan proses pelarutan dolomit dalam media larutan asam klorida. Parameter yang diamati meliputi pengaruh dari konsentrasi larutan, temperatur dan waktu proses. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter optimum dari pengaruh konsentrasi larutan, temperatur dan waktu dalam proses pelarutan dolomit menggunakan asam klorida. Dengan mengetahui parameter - parameter tersebut, diharapkan dapat menjadi referensi dalam proses pengolahan dolomit lokal sehingga menjadi produk yang lebih bernilai ekonomis demi terwujudnya kemajuan industri nasional.

8 November 2017

MATERIAL DAN METODE

Material

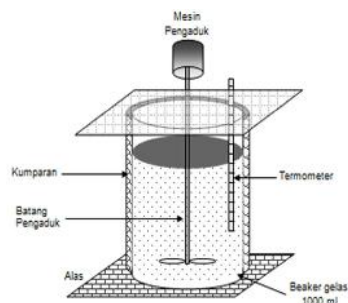
Material atau bahan yang digunakan berupa bijih dolomit yang telah dihaluskan berukuran -60 mesh. Komposisi kimia sampel dolomit dengan XRF ditunjukkan dalam Tabel 1. Terlihat bahwa penyusun utama terdiri dari senyawa kalsium (CaO) dan magnesium (MgO) dengan pengotor seperti silika, natrium dan besi. Sedangkan hasil analisa komposisi kimia dolomit awal dengan ICP OES mengandung 32,62 % Ca dan 16,76 % Mg. HCl p.a digunakan untuk membuat larutan asam sebagai pelarutan dalam proses pengolahan dolomit.

TABEL 1. Analisa komposisi kimia dolomit dengan XRF.

Senyawa	CaO	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
% Berat	61,38	25,73	7,93	1,19	0,84	0,54	0,41	0,40	0,37

Metode

Bijih dolomit dikeringkan dan dihaluskan dengan *Disc mill* sehingga diperoleh ukuran yang homogen dibawah 200 mesh. Sebelum proses pelarutan, sampel dipanaskan di dalam tungku pembakaran pada temperatur 900 °C selama 5 jam. Selanjutnya dilakukan proses pelarutan dengan asam klorida menggunakan reaktor beaker gelas berkapasitas 1000 ml (skematik alat pelarutan Gambar 1). Percobaan pelarutan dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi asam, temperatur dan waktu proses. Setelah proses pelarutan, sejumlah larutan diambil dengan menggunakan pipet sebanyak 5 ml kemudian disaring. Filtrat kemudian diencerkan dan dianalisa menggunakan ICP OES untuk mengetahui efisiensi pelarutan.



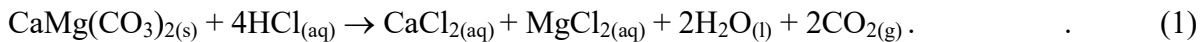
GAMBAR 1. Skematik alat proses pelarutan dolomit.

8 November 2017

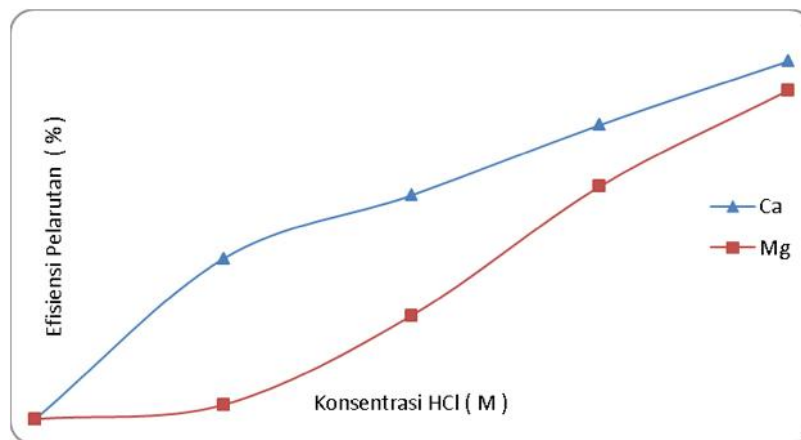
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi Larutan

Pelarutan dolomit dalam media larutan asam klorida dapat digambarkan mengikuti persamaan reaksi (1) sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi persamaan 1 tersebut, konsentrasi dari asam klorida merupakan salah satu parameter yang terpenting dalam proses pelarutan dolomit. Konsentrasi asam klorida yang digunakan dalam percobaan pelarutan ini sebesar 0,5; 1,0; 1,5 dan 2,0 M. Percobaan dilakukan pada temperatur 30 °C selama 1 jam dengan kondisi kecepatan pengadukan konstant. Hasil percobaan pengaruh konsentrasi asam klorida terhadap efisiensi pelarutan dolomit (kalsium dan magnesium terekstrak) ditunjukkan pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi pelarutan.

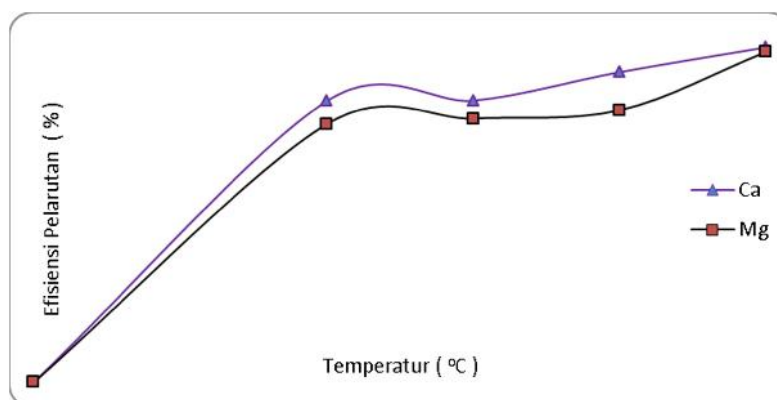
Dapat dilihat bahwa kecenderungan kalsium - magnesium yang terekstrak meningkat dengan naiknya konsentrasi asam klorida dari 0,5 sampai 2,0 M. Terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai efisiensi magnesium terekstrak dari 2,58% menjadi 59,84% apabila konsentrasi larutan dinaikkan dari 0,5 M ke 2 M. Persen efisiensi kalsium juga semakin tinggi dengan bertambahnya konsentrasi larutan asam klorida. Efisiensi kalsium terekstrak hasil percobaan pelarutan dolomit didapat sebesar 29,24% dan 65,19% untuk masing-masing konsentrasi 0,5 M dan 2,0 M HCl.

8 November 2017

Peningkatan persen kalsium dan magnesium terekstrak semakin tinggi karena penambahan asam klorida dapat meningkatkan laju kecepatan reaksi dan laju difusi H^+ . Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi pereaksi (HCl), maka semakin banyak ion - ion H^+ yang bereaksi sehingga semakin banyak Ca dan Mg terbentuk. Dengan demikian, reaksi semakin cepat berlangsung. sebaliknya, jika konsentrasi berkurang, maka ion - ion H^+ akan lebih sedikit dan laju reaksi juga akan berkurang. Hasil ini sesuai dengan berbagai hasil penelitian proses pelarutan mineral menggunakan media asam [11-13].

Pengaruh Temperatur

Dari hasil optimum pengaruh konsentrasi, kemudian dilakukan pengamatan pengaruh temperatur proses. Dalam mempelajari pengaruh temperatur, konsentrasi asam klorida yang digunakan sebesar 2 M HCl dengan kecepatan pengadukan dibuat konstant dan menggunakan 10% persen padatan dengan variasi temperatur 30, 45, 60 dan 75 °C. Hasil percobaan pelarutan dolomit dengan variasi temperatur ditunjukkan pada Gambar 3.



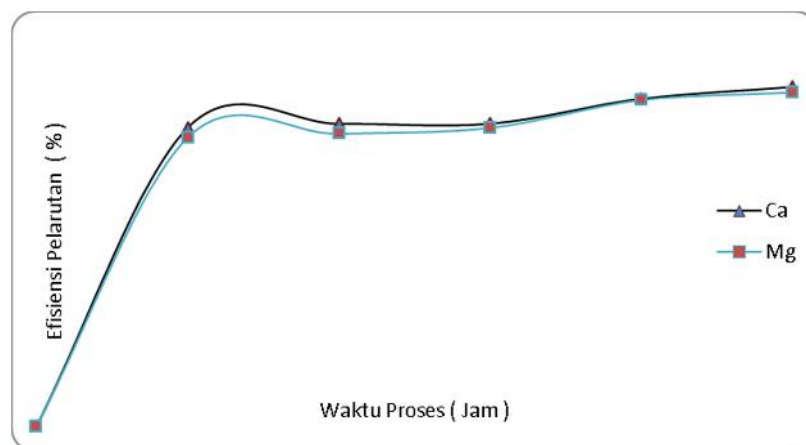
GAMBAR 3. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pelarutan.

Dari Gambar 3 tersebut, secara umum terlihat bahwa efisiensi kalsium dan magnesium terekstrak meningkat dengan naiknya temperatur. Efisiensi kalsium terekstrak meningkat menjadi 87,12% dari 76,65% jika temperatur proses dinaikkan ke 75 °C dari temperatur ruang. Sedangkan magnesium terekstrak meningkat menjadi 76,57% dari 59,84% apabila temperatur dinaikkan 30 °C ke 75 °C. Pada temperatur tinggi, jumlah partikel yang bereaksi lebih banyak dan bergerak lebih cepat dibandingkan pada temperatur rendah. Hal ini disebabkan karena pada temperatur tinggi energi kinetik partikel akan lebih besar.

8 November 2017

Pengaruh Waktu

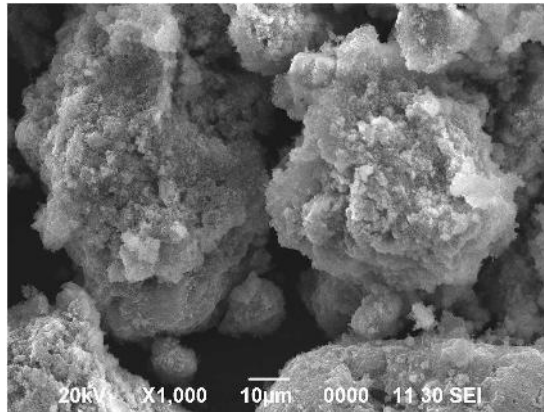
Pengaruh waktu proses pelarutan dilakukan dengan memvariasikan waktu mulai dari 1 hingga 5 jam pada temperatur 30 °C dengan kondisi percobaan menggunakan konsentrasi asam 2 M HCl, persen padatan 10% dan kecepatan pengadukan konstant. Hasil percobaan pelarutan dolomit dengan variasi waktu proses ditunjukkan pada Gambar 4. Pada 1 jam pertama, nilai efisiensi untuk kalsium hanya sebesar 76,65% dan magnesium sebesar 74,13%. Jika waktu proses pelarutan diperpanjang menjadi 2 jam, terjadi peningkatan efisiensi pelarutan walaupun sedikit yakni menjadi sebesar 77,59% dan 75,02% masing-masing untuk kalsium dan magnesium. Kemudian jika waktu proses diperpanjang lagi bahkan hingga 5 jam, peningkatan efisiensi pelarutan dolomit menjadi 87,12% dan 85,69% untuk kalsium dan magnesium. Disini terlihat bahwa pengaruh waktu proses relatif kecil pada periode 1 sampai 5 jam. Hal ini dikarenakan proses pembentukan gas CO₂ berlangsung sangat cepat [10].



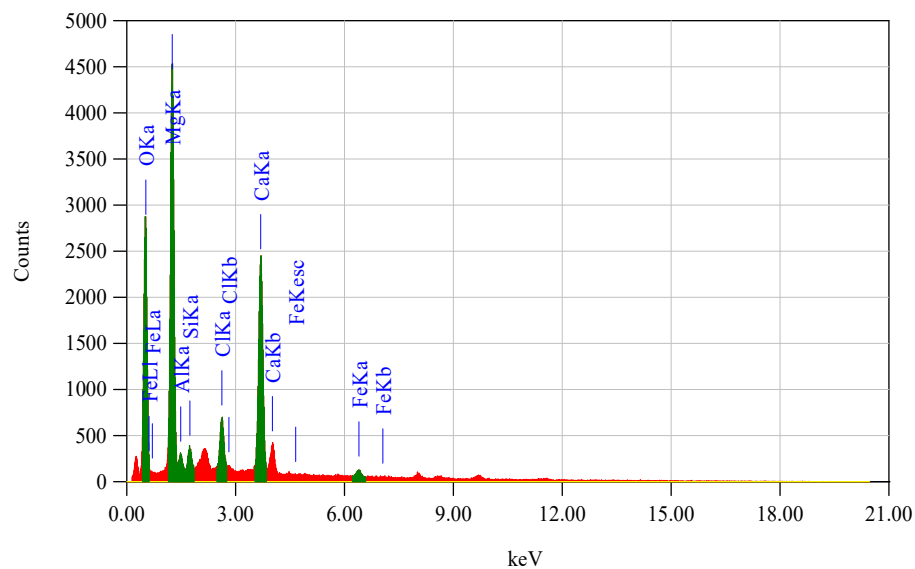
GAMBAR 4. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi pelarutan.

Residu produk hasil optimum pelarutan dolomit dianalisa menggunakan SEM dan EDS. Hasil analisa residu menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa morfologi permukaan butiran yang terkikis akibat bereaksi dengan asam klorida. Berdasarkan hasil analisa EDS pada Gambar 6, residu pelarutan dolomit masih terdapat logam magnesium dan kalsium. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pelarutan masih belum berjalan secara keseluruhan.

8 November 2017



GAMBAR 5. Foto hasil analisa SEM pada residu pelarutan dolomit.



GAMBAR 6. Hasil analisa EDS pada residu pelarutan dolomit.

KESIMPULAN

Kalsium dan magnesium dapat dihasil dari pelarutan dolomit dengan menggunakan media asam klorida. Konsentrasi larutan asam klorida dan temperatur sangat berpengaruh terhadap kalsium dan magnesium yang dihasilkan. Secara umum, efisiensi pelarutan untuk kalsium dan magnesium cenderung semakin meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi asam dan temperatur proses pelarutan dolomit. Kondisi optimum pelarutan didapat pada temperatur 75 °C dengan konsentrasi larutan sebesar 2 M HCl untuk waktu proses 5 jam.

Pada kondisi optimum tersebut, efisiensi pelarutan kalsium dan magnesium masing-masing sebesar 87,12% dan 85,69%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui kegiatan Kompetensi Inti pada tahun anggaran 2017.

REFERENSI

1. J. Warren, *Earth-Science Reviews* 52, 1–81 (2000).
2. M.P.G. Mantilaka, H.M. Pitawala, D.G.P. Karunaratne and R.M.G. Rajapakse, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 443, 201–208 (2014).
3. Tekmira-ESDM, Data pertambangan dolomite 2016, (20016).
4. L.X. Wei, Y.L. Feng and H.R. Li, *J. Cent. South Univ. Technol.* 18, 1865–1870 (2011).
5. A. Royani, E. Sulistiyono and D. Sufiandi, *Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 18*, 41-46 (2106).
6. E. Alvarad, L.M. Martinez, A.F. Fuentes and P. Quintana, *Polyhedron* 19, 2345–2351 (2000).
7. A. Royani and E. Sulistiyono, *Prosiding SENAMM IX*, 23-28 (2016).
8. N. Raza, Z. I. Zafar and R. V. Kumar, *International Journal of Mineral Processing* 139, 25–30 (2015).
9. H. Ozbek, Y. Abali, S. Colak S, I. Ceyhun and Z. Karagole, *Hydrometallurgy* 51, (1999).
10. A.A. Baba, A. S. Ibrahim, R. B. Bale, F. A. Adekola and G. F. Alabi, *Applied Clay Science* 114, 476–483 (2015).
11. M. Altiner, M. Yildirim and T. Yilmaz, *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 52, 536–550 (2016).
12. Y. Abali, S.U. Bayca, K. Arisoy, A.I. Vaizogullar, *Journal of Physicochem. Prob. Miner. Process.* 46, 253-261 (2011).
13. A. A. Baba, A. O. Omipidan, F. A. Adekola and O. Job, *Journal of Chem. Technology and Metallurgy* 49, 280-287 (2014).

Pembuatan Filamen Komposit Polypropylene High Impact Berpenguat Serat Rami Dengan Mesin Ekstrusi Sederhana

Nur Desri Srah Putri^{1, A)}, Mardiyati^{2, B)}, Rochim Suratman^{2, C)}, & Steven^{2, D)}

¹ Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik dan Desain, ITB

² Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB

^{a)}Nurdesri@yahoo.com ^{b)}Mardiyati@material.itb.ac.id ^{c)}Rochim@material.itb.ac.id

^{d)}Steven33116302@student.itb.ac.id

ABSTRACT

3D printing need high strength filament material to produce durable products. It is needed to develop a new filament material that has high tensile properties and low cost. The aim of this research was to investigate the effect of volume fraction of ramie short fiber on the fiber dispersion, physical properties and tensile properties of high impact polypropylene filament reinforced ramie short fiber. In this research, high impact polypropylene reinforced by 0%, 5%, 10% and 15% ramie short fiber was prepared by using simple extrusion machine with die diameter 1.7 mm and screw speed 40 rpm at temperature 190 C. The volume fraction of filament constituent every one metre length was determined by acid dissolution method. The density and tensile properties of filament was measured refer to ASTM D 2395 and ASTM D 3882. The highest density of filament was obtained for filament that reinforced by 15% ramie short fiber, that is 1.05 g/cm³. Based on acid dissolution method, the filament which reinforced by 5% ramie short fiber had the best fiber dispersion. Polypropylene filament reinforced ramie short fiber is promising to be utilized as 3D printing filament.

Keywords : Composite filament, extrusion, high impact polypropylene, ramie fiber, tensile properties

PENDAHULUAN

Filamen 3D printing merupakan material yang digunakan untuk membuat suatu produk 3 dimensi. Filamen 3D printing yang biasa digunakan bergantung pada sifat dan temperatur leleh material yang dibutuhkan. Namun kekurangan filamen yang ada saat ini ialah material yang digunakan tidak bersifat renewable dan sulit untuk di degradasi sehingga tidak ramah lingkungan.

Pengembangan material alternatif merupakan sasaran yang dilakukan oleh berbagai penelitian saat ini, salah satunya ialah dalam memanfaatkan sumber daya alam yang bersifat renewable dan

ramah lingkungan. Serat alam kini telah banyak digunakan sebagai penguat pada material komposit dalam berbagai aplikasi. Pembuatan filamen komposit berpenguat serat alam sangat dibutuhkan untuk beragam aplikasi, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan filamen komposit tersebut. Salah satu serat alam yang banyak ditemukan di Indonesia ialah serat rami yang memiliki kandungan selulosa cukup tinggi dibanding dengan serat alam lainnya. Berdasarkan data dari BPS Direktorat Jendral perkebunan menyebutkan bahwa pada tahun 2011 serat rami dapat diproduksi sebesar 1980 ton dengan laju pertumbuhan 5 cm per hari (BPSDJP, 2011). Hal tersebut merupakan potensi yang besar dalam memanfaatkan serat rami sebagai bahan penguat dalam pembuatan komposit.

Penelitian ini mengkaji proses pembuatan filamen komposit polipropilena *high impact* berpenguat serat rami dengan menggunakan mesin ekstrusi sederhana, mengkaji pengaruh fraksi volum serat terhadap ukuran diameter, massa dan densitas filamen, dan menganalisis pengaruh fraksi volum serat terhadap dispersi serat pendek.

MATERIAL DAN METODE

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah polipropilena *high impact* sebagai matriks dan serat rami sebagai material penguat komposit. Polipropilena *high impact* diperoleh dari PT. Chandra Asri sedangkan serat rami diperoleh dari perkebunan lokal di daerah Garut, Jawa Barat. H₂SO₄ diperoleh dari toko kimia Bratachem.

Metode

Preparasi yang dilakukan pada serat rami ialah mekanikal retting, dengan cara menyikat serat rami dengan penyikat kawat. Setelah itu dilakukan pemotongan serat rami menjadi serat pendek. Serat rami pendek dan polipropilena *high impact* dicampurkan dengan variasi fraksi volum serat sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Material tersebut dimasukkan ke dalam mesin ekstrusi sederhana dengan menggunakan kecepatan screw 40 rpm dan diameter die 1.7 mm pada temperatur 190⁰C. Lalu filamen digulung dengan puller dengan kecepatan 7-1 mm/detik. Kemudian filamen komposit yang telah diekstrusi dilakukan pengukuran diameter menggunakan jangka sorong serta dilakukan pengukuran massa dan densitas dengan menggunakan timbangan digital KERN ABJ 220-4NM. Pengujian densitas dilakukan dengan mengacu pada ASTM D 2395.

Pengukuran fraksi volum void dilakukan dengan menggunakan metode acid dissolution. Filamen hasil ekstrusi dipotong kecil-kecil sebanyak 1 gram kemudian dicampurkan dengan larutan H₂SO₄ 72% sebanyak 10 ml dan diaduk selama 4 jam pada temperatur 25⁰C. Selanjutnya direfluks selama 2 jam dengan 150 ml H₂SO₄ (0.5 M) pada temperatur 100⁰C. Persamaan (1) menunjukkan cara menghitung kandungan propilena *high impact* pada filamen komposit dan persamaan (2) menunjukkan cara menghitung kandungan serat rami pada filamen komposit.

$$W_m = \frac{V_m * \rho_m * 100}{V_m * \rho_m + V_s * \rho_s} \quad (1)$$

$$W_s = \frac{V_s * \rho_s * 100}{V_m * \rho_m + V_s * \rho_s} \quad (2)$$

Keterangan :

W _m	:	Massa matriks
V _m	:	Volum matriks
ρ _m	:	Densitas matriks
W _s	:	Massa serat
V _s	:	Volum serat
ρ _s	:	Densitas Serat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil diameter, massa, densitas filamen yang berbeda pada setiap variasi fraksi volum serat. Serta diperoleh nilai fraksi volum void pada filament

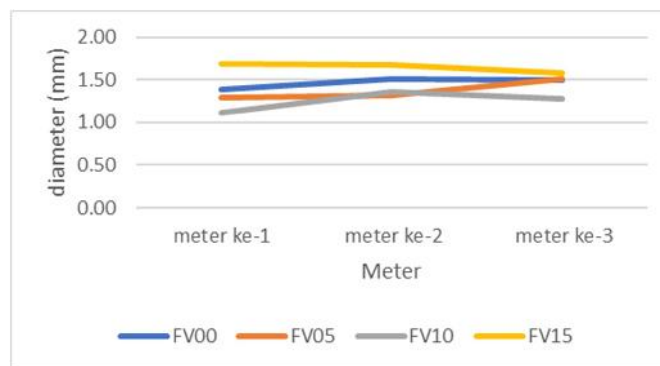
Hasil Pengukuran Diameter Filamen

Table 1 menunjukkan data diameter rata-rata filamen setiap satu meter dengan fraksi volum serat 0%, 5%, 10%, dan 15%.

8 November 2017

TABLE 1. Diameter rata-rata filamen setiap satu meter 0%, 5%, 10%, dan 15%.

Fraksi Volum Serat	Meter 1 dia rata-rata (mm)	Meter 2 dia rata-rata (mm)	Meter 3 dia rata-rata (mm)
0%	1.38	1.51	1.49
5%	1.28	1.32	1.51
10%	1.12	1.36	1.28
15%	1.68	1.68	1.58

**Gambar 1.** Grafik distribusi ukuran diameter filamen dalam tiap kenaikan satu meter

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 1. Dapat dilihat bahwa ukuran diameter filamen yang terbaik terletak pada fraksi volum serat 15%. Hal tersebut disebabkan karena ukuran diameter fraksi volum serat 15% pada meter pertama dan kedua cenderung mendekati ukuran die yang digunakan. Gambar 1 menunjukkan bahwa distribusi ukuran diameter terbaik terletak pada fraksi volum serat 15%. Semakin tinggi kandungan serat pada filamen maka ukuran diameter akan semakin meningkat.

Hasil Pengukuran Massa dan Densitas

Table 2 menunjukkan data massa filamen setiap satu meter dengan fraksi volum serat 0%, 5%, 10%, dan 15%.

TABLE 2. Massa filamen setiap satu meter untuk fraksi volum serat.

Fraksi Volum Serat	Meter 1 massa filamen (g)	Meter 2 massa filamen (g)	Meter 3 massa filamen (g)
0%	1.78	1.65	2.02
5%	1.75	1.81	1.81
10%	1.38	1.58	1.46
15%	2.15	2.16	2.05

8 November 2017

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 2, dapat dilihat bahwa massa filamen komposit yang tertinggi terdapat pada filamen komposit dengan fraksi volum serat 15%. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya diameter filamen pada komposit fraksi volum serat 15%. Adapun untuk massa filamen komposit yang terendah terdapat pada filamen komposit dengan fraksi volum 10%. Hal tersebut disebabkan karena diameter pada filamen fraksi volum serat 10% memiliki ukuran paling kecil. Sedangkan untuk distribusi massa yang paling baik terdapat pada filamen komposit dengan fraksi volum serat 5%. Table 3 menunjukkan data densitas filamen setiap satu meter dengan fraksi volum serat 0%, 5%, 10%, dan 15%.

TABLE 3. Densitas filamen setiap satu meter untuk fraksi volum serat

Fraksi Volum Serat	Meter 1 densitas (g/cm ³)	Meter 2 densitas (g/cm ³)	Meter 3 densitas (g/cm ³)
0%	0.86	0.80	0.85
5%	0.87	0.86	0.82
10%	0.79	0.78	0.92
15%	1.05	0.88	0.84

Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 3, didapatkan bahwa rata-rata densitas yang tertinggi terdapat pada filamen komposit dengan fraksi volum serat 15%. Hal tersebut disebabkan karena tingginya massa pada filamen komposit yang dimiliki oleh fraksi volum serat 15% sehingga menyebabkan densitas turut meningkat. Adapun distribusi densitas yang paling baik terdapat pada filamen komposit dengan fraksi volum serat 5%. Karena nilai densitas yang dimiliki relatif tidak berbeda jauh setiap meternya.

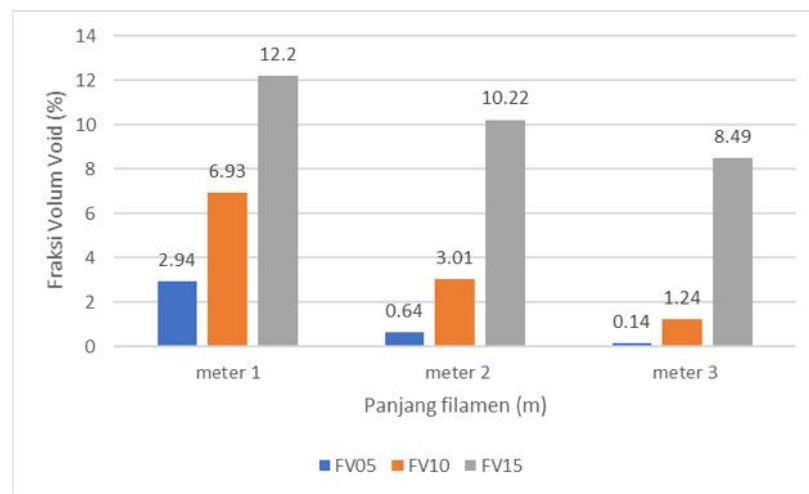
Hasil Pengukuran Fraksi Void

Table 4 menunjukkan data persentase fraksi volum void setiap satu meter dengan fraksi volum serat 0%, 5%, 10%, dan 15%.

TABLE 4. nilai Fraksi volum void filamen setiap satu meter.

Fraksi Volum Serat	Meter 1 fraksi volum void (%)	Meter 2 fraksi volum void (%)	Meter 3 fraksi volum void (%)
0%			
5%	2.06	4.36	4.86
10%	3.07	6.99	8.76
15%	2.78	4.78	6.51

8 November 2017



GAMBAR 2. Grafik penurunan fraksi volum void dalam tiap kenaikan satu meter

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai fraksi volum void pada meter pertama setiap fraksi volum serat cenderung lebih tinggi, hal tersebut disebabkan pada saat material dimasukkan ke dalam mesin ekstruder, material tidak tercampur secara merata yang mengakibatkan terjadinya dispersi yang kurang baik. Polipropilena *high impact* merupakan material yang memiliki titik leleh lebih rendah daripada serat rami, sehingga pada meter pertama setiap filamen komposit didominasi oleh matriks polipropilena *high impact*.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, filamen komposit dibuat dengan menggunakan 4 variasi fraksi volum serat yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Berdasarkan variasi tersebut diperoleh diameter, massa, dan densitas filamen terbaik terletak pada fraksi volum serat 15%, namun pada fraksi volum serat 15% dispersi serat pada filamen masih kurang baik.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Chandra Asri, Toko kimia Bratachem, dan petani tanaman rami di Garut yang telah menjadi penyedia material pada penelitian ini.

REFERENSI

1. A.K. Mohanty, M, Misra and T.L. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, Taylor and Francis Group. LLC, 2005.
2. D.D. Stokke, Q. Wu and G. Han, *Introduction to Wood and Natural Fiber Composite*, Chichester: Jhon Wiley and Sons, ltd., 2014, New York.
3. K. L. Pickering, *Properties and Performance of Natural-Fibre Composites*, Woodhead Publishing, Ltd., 2008, New York.
4. W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials sciences and Engineering an Introduction*, 8th ed, Jhon Wiley and Sons, Inc, 2009, New York.

Pengaruh Berat Molekul Terhadap Ketahanan Termal, Absorpsi Air Dan Kemampuan Biodegradasi Plastik Selulosa Teregenerasi Dari Kapas Limbah Industri Tekstil

Raden Reza Rizkiansyah^{1, A)}, Mardiyati^{1, B)}, & Steven^{1, C)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

^{a)}raden.reza.rizkiansyah@gmail.com

^{b)}mardiyati@material.itb.ac.id

^{c)}xscrow_steve@yahoo.com

ABSTRACT

Regenerated cellulose is a class of material formed by dissolving and regenerating cellulose into certain product. Regenerated cellulose has potential to be developed into environmentally friendly biodegradable plastic especially because abundance of cellulose in nature. Cotton is one of main source of cellulose that consist 86 – 98% of its mass. In this research, waste cotton from textile industry are used as source of cellulose which extracted via sulfuric acid hydrolysis process with concentration varied in 0,5; 1; 1,5; and 2 M in 100°C for 2 hours to obtain cellulose with various molecular weight. Regenerated cellulose is prepared by dissolving cellulose with NaOH 7 wt%/Urea 12 wt% which then formed by solution casting method. Molecular weight of cellulose was investigated by viscosity average molecular weight method using Ubbelohde viscometer. Thermogravimetry Analysis (TGA), water absorption test, and biodegradability test are conducted to investigate the influence of molecular weight to the thermal degradation, water absorption, and biodegradability of obtained regenerated cellulose plastic respectively. The result showed that the decrease of molecular weight causing the thermal degradation and water absorption to decrease but increasing the biodegradability of the obtained regenerated cellulose plastic. Highest thermal degradation temperature hailed resulted from usage of cellulose with molecular weight 2.73×10^4 g/mol which is 316°C as the lowest water absorption and highest mass loss after soil burial test is resulted from molecular weight 1.94×10^4 g/mol with value 49,60% and 50,55% respectively. This research showed that regenerated cellulose is promising to be applied as biodegradable plastic.

Keyword: cotton, degradation temperature, regenerated cellulose, soil biodegradation, water absorption

PENDAHULUAN

Permasalahan penumpukan sampah plastik yang tidak dapat terdegradasi secara alami merupakan salah satu hal yang saat ini menjadi isu utama dalam hal pencemaran lingkungan. Salah satu alternatif yang saat ini dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengembangkan jenis plastik yang dapat terdegradasi secara alami di alam yang umumnya dibuat dari polimer hayati. Selulosa merupakan salah satu jenis polimer hayati yang juga merupakan polimer hayati dengan ketersediaan paling melimpah di bumi, dimana diperkirakan dihasilkan 100 miliar ton selulosa setiap tahunnya [1]. Ketersediaan yang melimpah, serta sifatnya dapat diperbaharui menjadikan selulosa berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan plastik biodegradable. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengolah selulosa menjadi produk adalah melalui proses pelarutan dan regenerasi, dimana proses tersebut akan menghasilkan suatu produk yang disebut sebagai selulosa teregenerasi. Karakteristik utama dari selulosa teregenerasi adalah molekul selulosa penyusunnya yang tidak termodifikasi atau sama dengan pada saat kondisi *native*. Proses pembuatan selulosa teregenerasi yang banyak digunakan saat ini pada skala industri adalah melalui proses viscose, dimana pada proses ini digunakan karbon disulfide dan NaOH sebagai pelarut [2]. Proses viscose pada dasarnya kurang disukai karena menghasilkan limbah beracun yang sulit untuk diolah [2] sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Permasalahan terhadap pelarut viscose tersebut mendorong untuk dikembangkannya pelarut selulosa alternatif, dimana diantaranya yaitu NaOH/Urea dalam kondisi temperatur dibawah 0°C. Metode pelarutan ini dikembangkan oleh Zhang pada tahun 2000 yang diklaim lebih tidak beracun dan lebih murah dibandingkan dengan proses viscose [3], sehingga menjadikan proses tersebut banyak diteliti untuk dikembangkan lebih lanjut. Dalam penelitian ini akan dikaji pemanfaatan kapas limbah yang dihasilkan dari industri pembuatan benang katun sebagai sumber selulosa. Pemilihan kapas limbah sebagai sumber bahan baku selulosa dalam penelitian ini dilatarbelakangi oleh kandungan selulosa dari kapas yang pada dasarnya sangat tinggi, yakni berkisar antara 88-96% [4] serta potensi dari limbah kapas tekstil yang sangat besar, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara produsen benang katun terbesar di dunia dengan produksi mencapai 2,284 Juta Ton [5] namun limbah tersebut sebagian besar hanya dimanfaatkan untuk aplikasi dengan nilai ekonomi yang relatif rendah seperti *cotton bud*, isian boneka dan bantal atau dimusnahkan. Selulosa diekstraksi dari kapas limbah melalui proses hidrolisis menggunakan asam sulfat yang kemudian dibuat menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk bulk, atau plastik dengan

ketebalan lebih dari 0,4 mm (definisi pada standar ASTM D638). Bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk bulk pada perkembangannya saat ini masih jarang dikaji dan sebagian besar lebih terfokus pada pengembangan dalam bentuk film yang berorientasi pada aplikasi kemasan [6,7]. Karakteristik selulosa teregenerasi yang memiliki struktur kimia serupa dengan selulosa asli berpotensi menyebabkan bioplastik yang dihasilkan akan memiliki sifat dan karakteristik yang serupa dengan selulosa *native*, diantaranya akan berpengaruh pada sifat fisik seperti ketahanan temperatur, absorpsi air, maupun kemampuan biodegradasinya yang dimana ketiganya juga dapat dipengaruhi oleh variasi berat molekul selulosa yang digunakan. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh dari berat molekul tersebut terhadap sifat fisik dari bioplastik yang dibuat. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai sifat fisik dari bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk *bulk* yang dihasilkan dari selulosa dari kapas limbah, khususnya sebagai akibat pengaruh berat molekul selulosa yang digunakan.

MATERIAL DAN METODE

Material

Kapas limbah industri pembuatan benang katun yang digunakan diperoleh dari PT Mulya Jaya, Desa Cigentur, Majalaya, Kabupaten Bandung. Asam sulfat yang digunakan berasal dari Puduk, Bandung; NaOH dari Brataco Chemica Bandung; Urea dari Central Kimia, Bandung; dan Aseton dari Justus Kimiaraya, Bandung. Air deionisasi diperoleh dari Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB.

Metode

Ekstraksi Selulosa dari Kapas Limbah

Hidrolisis dengan menggunakan asam sulfat dilakukan untuk mengekstraksi selulosa dari kapas limbah. Hidrolisis terhadap kapas dilakukan pada temperatur 100°C selama 2 jam. Konsentrasi asam sulfat divariasikan pada 0,5 M; 1 M; 1,5 M, dan 2 M. Hasil hidrolisis kemudian disaring dengan kertas saring dan dikeringkan pada temperatur ruang.

Pembuatan Plastik Selulosa Teregenerasi

Selulosa yang diperoleh dari hasil hidrolisis didispersikan didalam larutan 7% NaOH/ 12% Urea dan dibekukan pada temperatur -10°C selama 24 jam.

Larutan selulosa yang diperoleh dari hasil pelelehan larutan beku kemudian disaring dan dibentuk menjadi plastik melalui metode solution casting dengan koagulan aseton dan air pada perbandingan 2 : 1. Hidrogel selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur ruang.

Karakterisasi

Karakterisasi berat molekul dari selulosa yang diperoleh dari proses hidrolisis terhadap kapas limbah dilakukan melalui metode berat molekul rerata viskositas. Viskometer ubbelohde digunakan untuk mengukur viskositas intrinsik dari $[\eta]$ dari larutan selulosa yang kemudian dikonversi menjadi berat molekul rerata viskositas (MW_{η}) dan derajat polimerisasi masing-masing menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 [8,9,10].

$$[\eta] = 2.45 \times 10^{-2} MW_{\eta}^{0.815} \quad (1)$$

$$DP = \frac{MW_{\eta}}{M} = \frac{MW_{\eta}}{162} \quad (2)$$

Karakterisasi TGA dilakukan dengan alat Setaram Labsys Evo di Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Puspitek Serpong pada rentang temperatur 30 - 600°C dengan laju pemanasan 10°C/min. Nitrogen digunakan sebagai purge gas dengan laju 20 ml/menit. Pengujian absorpsi air dan biodegradasi tanah dilakukan masing-masing dengan standar ASTM D 570-98 dan ISO 846. Pengukuran berat sampel dilakukan dengan timbangan KERN ABJ 2204NM di laboratorium polimer, Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Molekul Selulosa dari Hidrolisis Kapas Limbah

Hidrolisis dengan menggunakan asam sulfat telah dilakukan untuk mengekstraksi selulosa dari serat kapas limbah industri tekstil. Pengukuran berat molekul rerata viskositas dilakukan untuk memperkirakan berat molekul selulosa yang diekstraksi dari kapas limbah tersebut serta melihat seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan dari konsentrasi asam yang digunakan terhadap perubahan berat molekul selulosa yang diperoleh. Hasil pengujian berat molekul rerata viskositas dan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1. Data hasil pengujian berat molekul yang telah dikonversi ke derajat polimerisasi menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan nilai derajat polimerisasi dari

8 November 2017

selulosa kapas *native* pada literatur selulosa hasil ekstraksi memiliki nilai yang jauh dibawah selulosa kapas *native*, yakni berkisar antara 169,1 – 120,13. Data hasil pengujian yang diperoleh juga menunjukkan nilai derajat polimerisasi selulosa cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi asam yang digunakan. Penurunan nilai derajat polimerisasi yang terjadi tersebut disebabkan oleh jumlah ion hidrogen dalam larutan yang digunakan, dimana akan turut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam yang digunakan. Ion hidrogen berperan sebagai katalis dalam suatu proses hidrolisis ikatan glikosidik rantai selulosa [12], dimana dengan semakin banyaknya ion hidrogen yang hadir maka akan semakin besar potensi reaksi hidrolisis terhadap ikatan glikosidik yang terjadi sehingga akan menghasilkan selulosa dengan derajat polimerisasi yang lebih kecil.

TABEL 1. Hasil Pengujian Berat Molekul Rerata Viskositas

	Berat Molekul rerata viskositas ($\times 10^4$)	Derajat Polimerisasi	Keterangan
Native	-	15300	[11]
Hidrolisis 0,5 M	2.73	169.1	Penelitian ini
Hidrolisis 1 M	2.49	153.82	Penelitian ini
Hidrolisis 1,5 M	2.01	124.58	Penelitian ini
Hidrolisis 2 M	1.93	120.13	Penelitian ini

Karakteristik Plastik Selulosa Teregenerasi dari Kapas Limbah Industri Tekstil

Selulosa yang diperoleh dari kapas limbah industri tekstil telah diolah menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dengan ketebalan rata-rata 0,87 mm. Contoh bioplastik selulosa teregenerasi yang telah



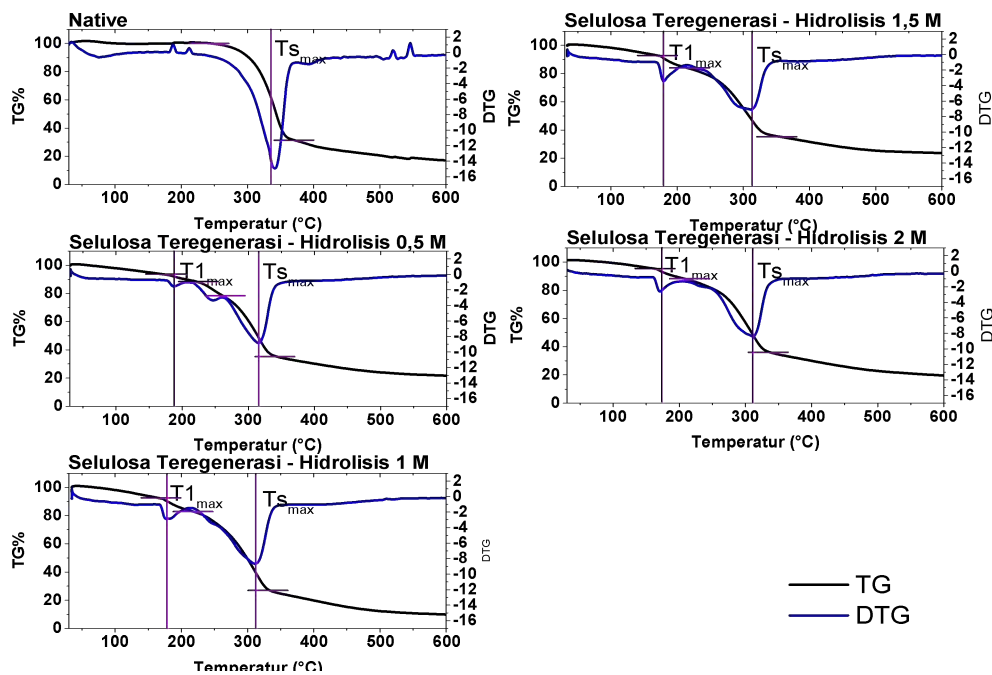
GAMBAR 1. Plastik Selulosa Teregenerasi

dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 1. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan khususnya terkait pengaruh dari berat molekul dari selulosa yang digunakan terhadap sifatnya.

8 November 2017

Ketahanan Termal

Ketahanan termal dari bioplastik selulosa teregenerasi dikarakterisasi melalui pengujian TGA. Hasil pengujian berupa kurva TGA dan DTG dari kapas limbah *native* dan bioplastik selulosa teregenerasi ditunjukkan pada Gambar 2, yang secara umum menunjukkan penurunan massa



GAMBAR 2. Kurva TG dan DTG dari selulosa kapas *native* dan teregenerasi

yang terjadi terhadap sampel seiring dengan peningkatan temperatur uji yang dilakukan. Data yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan pola tahapan penurunan massa sebagai akibat dari peningkatan temperatur yang diberikan pada kapas *native* dengan bioplastik hasil regenerasi, yakni berupa *fast pyrolysis* pada 336°C untuk kapas *native* dan pada sekitar 311°C - 316°C untuk bioplastik selulosa teregenerasi. Nilai perubahan yang terjadi pada masing-masing sampel yang diuji dirangkum pada Tabel 2. Fenomena *fast pyrolysis* yang terjadi pada kisaran 336°C dan 311 - 336°C yang terjadi baik pada kapas *native* maupun bioplastik selulosa teregenerasi tersebut merujuk kepada proses degradasi terhadap rantai selulosa [13]. Data yang diperoleh juga menunjukkan bahwa temperatur degradasi (T_{max}) setelah regenerasi cenderung lebih rendah dibandingkan pada saat *native*. Pada bioplastik selulosa teregenerasi sendiri nilai T_{max} tersebut cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam yang digunakan (berat molekul selulosa semakin kecil) dengan kisaran 316°C ketika menggunakan selulosa dari hasil hidrolisis 0,5 M sampai 311.06°C pada selulosa 2 M.

8 November 2017

Penurunan T_{max} dan seiring dengan penurunan berat molekul tersebut dikarenakan pada berat molekul yang lebih rendah polimer akan lebih mudah terdegradasi. Fenomena lain yang tampak pada data yang diperoleh adalah penurunan massa pada kisaran 170°C - 240°C, dimana penurunan massa yang terjadi pada rentang tersebut merujuk kepada degradasi dari selulosa tersulfatisasi, yakni selulosa yang sejumlah gugus hidroksilnya (-OH) tersubstitusikan oleh gugus sulfat (-OSO³⁻) [11,13,14,15]. Bagian

TABEL 2. Stabilitas Termal Selulosa kapas *native* dan teregenerasi

Perlakuan	Mass Loss (%)	T Onset (°C)	T Max (°C)
Native	68.63	225	336.98
0,5 M	53.43	225	316.004
1 M	55.39	220	312.13
1,5 M	48.18	215	311.43
2 M	52.34	211	311.06

selulosa yang tersulfatisasi tersebut memiliki temperatur degradasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang seharusnya karena adanya katalisasi oleh gugus sulfat terhadap proses degradasi rantai selulosa tersebut [11,15]. Fenomena terbentuknya selulosa tersulfatisasi dalam bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh ini kemungkinan disebabkan sebagai efek samping penggunaan asam sulfat dalam proses ekstraksi selulosa dari kapas melalui proses hidrolisis, [11,14,16,17].

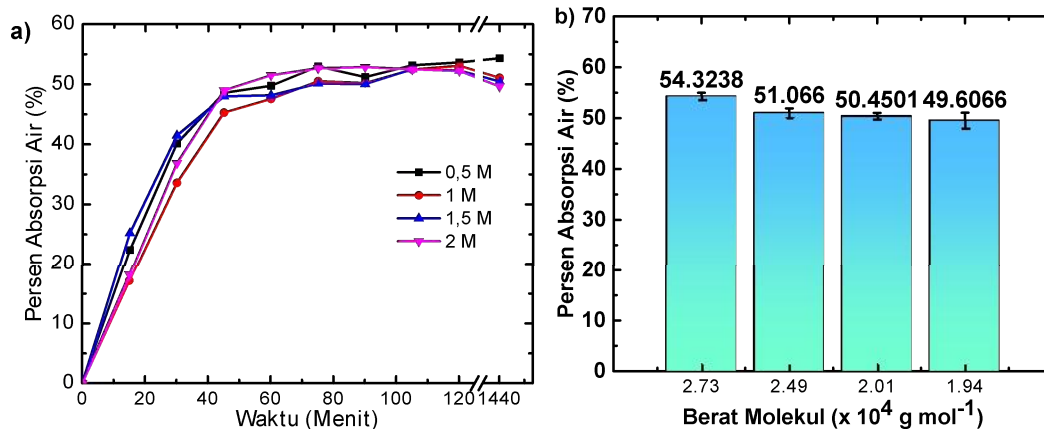
Secara umum, hasil pengujian TGA yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh dari berat molekul selulosa yang digunakan terhadap kestabilan termal dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh memiliki temperatur degradasi berkisar antara 311 - 336°C yang bergantung pada berat molekul yang digunakan. Hasil yang diperoleh tersebut pada dasarnya lebih rendah jika dibandingkan dengan literatur yang mencapai 343°C, hal ini kemungkinan disebabkan perbedaan besar berat molekul yang digunakan [13]

Absorpsi Air

Pengujian absorpsi air terhadap bioplastik selulosa teregenerasi telah dilakukan untuk mengukur seberapa besar interaksi dari bioplastik selulosa teregenerasi ketika mengalami kontak dengan air. Pengujian ini dilakukan karena selulosa yang menyusun bioplastik tersebut sama dengan kondisi native, dimana selulosa pada dasarnya memiliki potensi interaksi dengan air yang sangat besar sebagai akibat dari keberadaan gugus hidroksil dalam jumlah besar. Pengujian absorpsi air dilakukan karena selulosa pada dasarnya merupakan suatu polimer yang bersifat polar, yang dimana hal tersebut menyebabkan selulosa dapat mudah berinteraksi dengan molekul air. Data hasil pengujian absorpsi air dari bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 3a.

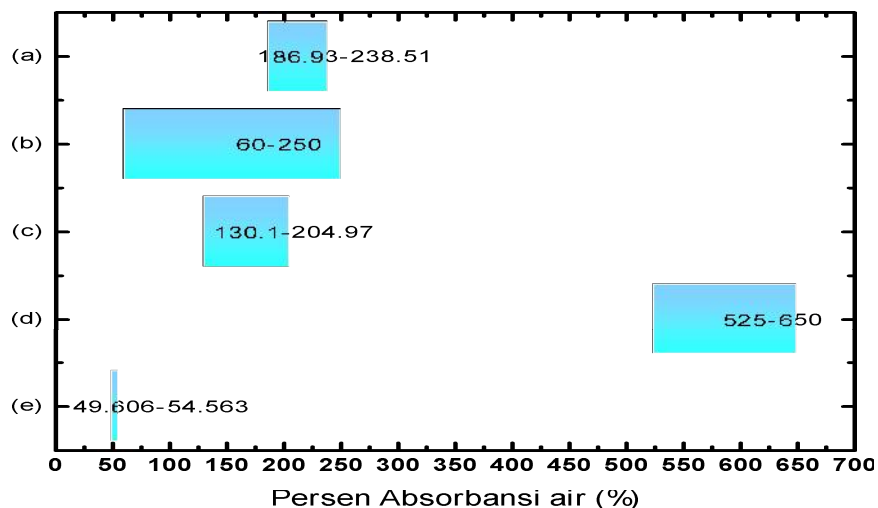
Data yang diperoleh secara umum menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi mengalami peningkatan jumlah air terabsorpsi seiring dengan peningkatan waktu perendaman yang dilakukan. Tingkat penyerapan air yang signifikan terjadi sampai 60 menit perendaman dan setelahnya relatif stabil pada kisaran 50 – 53%. Persentase penyerapan air setelah 24 jam (1440 menit) ditunjukkan pada Gambar 3b, dimana menunjukkan persentase air yang diserap berkisar antara 49 -54% yang dimana rentang ini masih berada disekitar persen absorpsi pada sekitar 60 – 120 menit perendaman, hal tersebut mengindikasikan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi telah mengalami saturasi. Persentase kandungan air yang diserap oleh masing-masing sampel bioplastik selulosa teregenerasi dari berbagai berat molekul selulosa setelah perendaman 24 jam menunjukkan adanya kecenderungan penurunan penyerapan air seiring dengan peningkatan berat molekul dari bioplastik selulosa teregenerasi. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena pada berat molekul yang lebih besar akan semakin banyak gugus hidroksil yang tersedia pada rantai selulosa untuk berinteraksi dengan molekul air [22].

8 November 2017



GAMBAR 3. a) Kecenderungan persentase penyerapan air plastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan dari selulosa kapas yang dihidrolisis pada berbagai konsentrasi asam seiring dengan waktu perendaman b) Persentase penyerapan setelah 24 jam

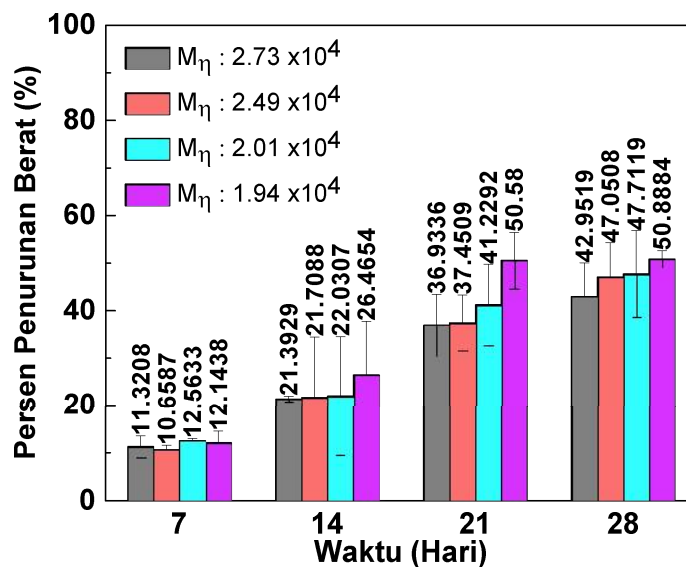
Kondisi penyerapan air yang rendah pada dasarnya cenderung disukai karena akan memperkecil kemungkinan disorientasi bioplastik sebagai akibat penyerapan air yang terjadi. Secara umum, persentase absorpsi air dari bioplastik selulosa teregenerasi dalam penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan sejumlah bioplastik berbahan dasar hayati lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, hal ini dikarenakan selulosa lebih memungkinkan untuk menyusun diri secara lebih teratur (kristalin) dibandingkan bahan-bahan tersebut, sehingga molekul air lebih sulit untuk berdifusi diantara rantai-rantai polimer yang menyusunnya.



8 November 2017

Kemampuan Biodegradasi

Pengujian biodegradasi tanah telah dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh untuk terdegradasi secara alami di alam. Persentase penurunan berat dari sampel yang dipendam selama jangka waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan berat yang terjadi seiring dengan waktu pemendaman, hal tersebut kemungkinan disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme yang mendegradasi selulosa yang menyusun bioplastik tersebut. Dari segi berat molekulnya, persentase berat yang hilang dari sampel bioplastik selulosa teregenerasi mengalami peningkatan seiring dengan penurunan berat molekul yang terjadi atau dalam kata lain menjadi semakin mudah untuk terdegradasi secara alami. Peningkatan persentase berat yang hilang tersebut disebabkan oleh semakin sedikitnya ikatan glikosidik yang perlu dipotong menjadi molekul yang lebih kecil (degradasi) oleh mikroorganisme melalui suatu mekanisme hidrolisis oleh enzim [23]. Kondisi plastik yang lebih mudah terbiodegradasi diharapkan untuk memudahkan penanganan pasca pemakaian plastik tersebut, khususnya untuk menghindari penumpukan sampah. Secara umum, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh telah terbukti memiliki sifat *biodegradable*.



Gambar 5. Persentase penurunan berat dari plastik selulosa teregenerasi

KESIMPULAN

Selulosa telah berhasil diekstraksi dari kapas limbah dengan berbagai berat molekul dan diproses menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dengan ketebalan rata-rata 0,87 mm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam yang digunakan dalam proses hidrolisis berpengaruh terhadap berat molekul selulosa yang terekstraksi dengan kisaran 2.73×10^4 g/mol pada konsentrasi 0,5 M hingga 1.94×10^4 g/mol pada konsentrasi 2 M. Berat molekul dari selulosa yang digunakan dalam pembuatan bioplastik selulosa teregenerasi juga turut berpengaruh terhadap sifat fisik dari bioplastik yang dihasilkan seperti ketahanan termal, persentase absorpsi air, dan kemampuan biodegradasi dari bioplastik yang diperoleh. Penurunan berat molekul selulosa yang digunakan akan menyebabkan penurunan temperatur degradasi dan absorpsi air dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan, namun di sisi lain menyebabkan bioplastik tersebut menjadi lebih mudah terbiodegradasi. Bioplastik selulosa teregenerasi dengan temperatur degradasi tertinggi diperoleh dari berat molekul 2.73×10^4 g/mol yakni mencapai 316°C , adapun untuk absorpsi air terendah dan yang paling mudah didegradasi secara alami diperoleh dari berat molekul 1.94×10^4 g/mol dengan persen absorpsi dan persen berat hilang setelah pembedaman di tanah selama 28 hari berkisar 49,60% dan 50,55%.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih PT Mulya Jaya atas bantuan bahan baku kapas limbah yang diberikan kepada penulis, laboratorium Teknik produksi, ibu Eryanti Kalembang dari PTM BPPT Serpong atas bantuannya dalam pengujian sampel, dan saudara Asril Senoaji ,M.T. dari Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil atas bantuan dan saran yang diberikan kepada penulis.

REFERENSI

- 1 Pilla, Srikanth, *Handbook of Bioplastic and Biocomposites Engineering Application* (Scriveener Publishing, Salem, 2011), pp. 349
- 2 Raymond D. Harbison, Marie M. Bourgeois, dan Giffe T. Johnson, *Hamilton and Hardy's Industrial Toxicology, Sixth Edition* (John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2015), pp. 792.
- 3 Manisha Pandey, Muhammad Mustafa Abeer, Mohd Cairul Iqbal, dan Mohd Amin, *Int J Pharm Pharm Sci*, **6**, pp. 89-93 (2015)
- 4 Xiangwu Zhang, "Chemical Structure of Natural Polymer Fibers" in *Fundamentals of Fiber Science* (DeStech Publishing Inc. Pennsylvania, 2014), pp. 55.
- 5 Nurma Febrina. "Analisis Strategi PT Apac Inti Corpora Diindustri TPT." Tugas Akhir Sarjana, Universitas Gajah Mada, Indonesia, 2013.
- 6 Qiyang Wang, Jie Cai, Lina Zhang, Min Xu, He Cheng, Charles C. Han, Shigenori Kuga, Jun Xiao, dan Rui Xiao, *J. Mater. Chem. A*, **1**, pp. 6678–6686 (2013).
- 7 Sen Wang, Ang Lu, dan Lina Zhang, *Progress in Polymer Science*, **53**, pp. 169–206, Aug. 2015.
- 8 Zhou, Jinping, Lina Zhang, dan Jie Cai, *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, **42**, pp. 347–353 (2003).
- 9 David N.S. Hon dan Nobuo Shiraishi, *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Re-vised, and Expanded* (Marcell Dekker, New York, 2001), pp. 290.
- 10 Shuai Zhang, Wen Cong Wang, Fa Xue Li, dan Jian-Yong Yu, *Cellulose Chem. Technol.*, **47**, pp. 671-679, (2012).
- 11 Lanxing Du, Jinwu Wang, Yang Zhang, Chusheng Qi, Michael P. Wolcott, dan Zhiming Yu, *Nanomaterials*, **7**, pp. 51 (2017).
- 12 Laura Kupiainen. "Dilute Acid Catalysed Hydrolysis of Cellulose – Extension to Formic Ac-id." Disertasi Doktor, University of Oulu, Amerika Serikat, 2012.
- 13 Lee Chiau Yeng, Mat Uzir Wahit, dan Norhayani Othma, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, **75**, pp. 107–112 (2015).
- 14 Ning Lin dan Alain Dufresne, *Nanoscale*, **6**, pp. 5384-5393, (2014).
- 15 Maria Alice Martins, Eliangela M. Teixeira, Ana Carolina Correa, Mariselma Ferreira, dan Luiz H. C. Mattoso., *Journal of Materials Science*, **46**, pp. 7858–7864 (2011).
- 16 Ping Lu dan You-Lo Hsieh, *Carbohydrate Polymers*, **82**, pp. 329–336 (2010).

- 17 Raden Reza Rizkiansyah. “Ekstraksi Mikrokrystalin Selulosa dari Bambu Apus (*Gi-gantochloa apus*) dan Pemanfaatannya Se-bagai Penguat pada Biokomposit Pati Tapioka/MCC.” Tugas Akhir Sarjana, Insitut Teknologi dan Sains Bandung, Indonesia, 2014.
- 18 Ziyad Abolibda Tariq. “Physical and Chemical Investigations of Starch Based Bio-Plastics.” Disertasi Doktoral, University of Leicester, Kerajaan Britania Raya, 2015.
- 19 David Grewell, Sean T. Carolan, dan Gowrishankar Srinivasan, *J. Renew. Mater.*, **1**, pp. 231 – 241 (2013).
- 20 Tuty Anggraini, Ulfimarjan, Fauzan Azima, dan Rina Yenrina, *Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, **8**, pp. 1339-1351 (2017).
- 21 Manuel Felix, Valme Carpintero, Alberto Romero dan Antonio Guerrero, *Polímeros*, **26**, pp. 277-281 (2016).
- 22 Otilia M. Y. Koo, *Pharmaceutical Excipients Properties, Functionality, and Applications in Research and Industry* (John Wiley & Sons, Inc, Hoboken 2017), pp. 56.
- 23 Jiantao Niu, Xiaoying Zhang, Nana Pei, dan Qilei Tian, *Applied Mechanics and Materials*, **217-219**, pp. 918-922, (2012).

Potensi Lignin *Hardwood* Sebagai Substitusi Sebagian Bahan Pengisi Silika Terhadap Kemampuan Proses Dan Ketahanan *Aging* Pada Vulkanisat Ban

Louis Sonna Martuah Purba^{1,A)}, Mardiyati^{1,B)}, & Devi Herlianty^{2,C)}

¹Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No.10 Bandung, 40132, Indonesia.

²Departemen RnD, PT Multistrada Arah Sarana, Tbk,

^{a)}louissweinchteiger@yahoo.com

^{b)}mardiyati@material.itb.ac.id

^{c)}devi.herlianty.s@multistrada.co.id

ABSTRACT

Lignin is considered the second most abundant organic natural compound in the world. It is a complex, amorphous highly crosslinked polyphenolic. In fact, the lignin structure is composed of aromatic and aliphatic chains in which lignin may act to protect the rubber chain against oxidation attacks thereby increasing aging resistance. In this research, the effect of lignin as silica substitution of 10 and 15 phr on processability and aging resistance on tire compounds were studied. Tire compounds were prepared by mixing while vulcanized rubbers were made by vulcanization process. The compounds were characterized using Rheometer to determine processability, i.e. viscosity, scorch time, and cure rate. The vulcanized compounds then formed into a tensile test samples and tested under fresh conditions and under aging conditions. The aging condition was applied by heating the vulcanized rubbers at temperature 100 °C for 24 hours. Compound with lignin substitution on silica decreased the viscosity thereby increased processability by 13,2% as compared to the standard compound without lignin modification. In addition, the vulcanisate with lignin substitution on silica also increased the aging resistance by 5,9% as compared to standard compound. The results showed that lignin have a potential to be used as a filler in tire compound for improving processability and aging resistance.

Keyword: hardwood lignin, compound, vulcanized rubbers, processability, tensile test, aging resistance

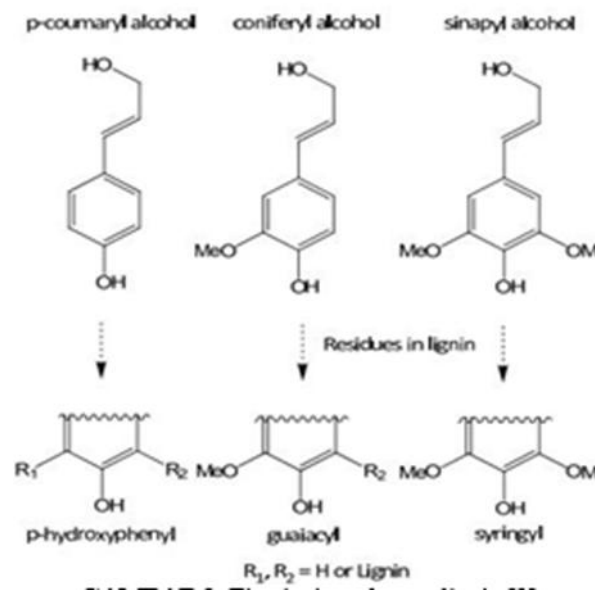
PENDAHULUAN

Ban terdiri dari beberapa bagian, yaitu *tread* (tapak), *sidewall*, *body ply*, *beads*, *plies*, *belt*, *casing*, dll. Bagian ban yang bersentuhan langsung dengan jalan ialah *tread*(tapak ban). Kompon (*compound*) pada tapak ban tersusun dari material karet, bahan pengisi (*filler*), bahan vulkanisasi, bahan penstabil, serta bahan aditif lainnya. Bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan penyusun kompon yang memiliki persentase kedua terbanyak setelah karet didalam kompon tapak ban. Tanpa bahan pengisi, vulkanisat tidak akan memiliki sifat mekanik yang baik. Jumlah bahan pengisi tergantung kepada aplikasi dari produk yang akan digunakan. Semakin banyak bahan pengisi maka nilai kekerasan dan kekakuan kompon akan semakin tinggi. Bahan pengisi (*filler*) juga mempengaruhi kemampuan proses pembuatan ban. Bahan pengisi yang memiliki dispersi yang lebih baik akan dapat menurunkan viskositas kompon sehingga meningkatkan kemampuan proses pembuatan kompon.

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah lignin. Dilihat dari strukturnya, lignin memiliki struktur yang mirip dengan antidegradan, yaitu mengandung gugus hidrokarbon siklik dan fenolik sehingga lignin sangat berpotensi meningkatkan ketahanan *aging* pada kompon. Lignin pada penelitian ini diperoleh dari *black liquor*. *Black liquor* merupakan cairan hitam hasil sampingan dari proses pengubahan kayu menjadi pulp yang kemudian dikeringkan menjadi kertas [5]. Kandungan *Black liquor* terdiri dari lignin, asam-asam hidroksi, asam format, asam asetat, zat ekstraktif dan senyawa-senyawa lainnya. Lignin memiliki persentase kandungan paling banyak di dalam *black liquor* yaitu sekitar 46%. Lignin memiliki beberapa kelebihan antara lain: memiliki sifat termal yang baik, memiliki massa jenis yang rendah, dapat bertindak sebagai antidegradan, memiliki efek penguatan, dan *biodegradable*. Saat ini, lignin telah banyak diaplikasikan menjadi bahan bioplastik, pupuk dan pestisida, bahan perekat, coating, precursor serat karbon dan bahan pengisi (*filler*) pada ban. Pada penelitian ini, lignin digunakan sebagai *filler* pada kompon ban. Terdapat 3 jenis sampel kompon yang digunakan pada penelitian ini yaitu sampel kontrol (tanpa modifikasi lignin), sampel dengan modifikasi lignin 10 phr dan yang terakhir adalah sampel dengan modifikasi lignin 15 ph. Istilah lignin berasal dari Bahasa latin, "*lignum*" yang berarti kayu (*Mccarthy and Islam, 1999*). Lignin pertama kali diisolasi dari kayu dalam sebuah laporan ilmiah oleh ilmuwan Prancis yang bernama Payen pada tahun 1838 dan kemudian diberi nama lignin pada tahun 1857 oleh Schulze [1]. Lignin merupakan senyawa kimia kompleks dan satu-satunya polimer aromatik yang terdapat pada kayu [1]. Jumlah lignin yang terdapat pada kayu biasanya 20% - 35% bergantung kepada perbedaan jenis kayu.

8 November 2017

Jenis kayu *hardwood* normalnya mengandung 20% - 25% lignin sedangkan jenis kayu *softwood* mengandung 26%-32% lignin. Istilah lignin berasal dari Bahasa latin, "*lignum*" yang berarti kayu (*Mccarthy and Islam, 1999*). Lignin pertama kali diisolasi dari kayu dalam sebuah laporan ilmiah oleh ilmuwan Prancis yang bernama Payen pada tahun 1838 dan kemudian diberi nama lignin pada tahun 1857 oleh Schulze [1]. Lignin merupakan senyawa kimia kompleks dan satu-satunya polimer aromatik yang terdapat pada kayu [1]. Jumlah lignin yang terdapat pada kayu biasanya 20% - 35% bergantung kepada perbedaan jenis kayu. Jenis kayu *hardwood* normalnya mengandung 20% - 25% lignin sedangkan jenis kayu *softwood* mengandung 26%-32% lignin. Lignin memiliki struktur fenolik tiga dimensi termasuk tiga unit utama phenylpropane yang bernama *p-coumaril*, *coniferyl* dan *sinapyl* [3]. Jenis tanaman *hardwood* terdiri dari dua unit *phenylpropane* yang berbeda, yaitu: *coniferyl alcohol* dan *sinapyl alcohol*. Sedangkan *softwood* dibangun oleh *coniferyl alcohol* dan *p-coumaryl alcohol*. Gambar 1 menunjukkan prekursor utama penyusun lignin.



GAMBAR 1. Tiga jenis prekursor lignin [3]

Biasanya, lignin diperoleh dari proses ekstraksi langsung dari kayu namun juga dapat diperoleh dari proses isolasi dari limbah industri kertas. Pada proses pembuatan pulp dan kertas, selulosa diambil dari sumber lignoselulosa sementara lignin dan hemiselulosa dibuang sebagai limbah dengan proses delignifikasi. Kraft pulping merupakan jenis proses yang paling banyak digunakan untuk mengekstraksi selulosa dari lignoselulosa di dalam kayu.

Prinsip delignifikasi pada proses kraft adalah menghilangkan lignin dan hemiselulosa pada potongan kayu dengan larutan *white liquor* yang terdiri dari larutan NaOH dan Na₂S pada temperatur 150-170 °C [4]. Setelah pemasakan pada kertas, larutan yang tersisa terdiri dari sodium lignin, hemiselulosa, material organik lain (polisakarida, asam karbosilik, dan zat ekstraktif), komponen inorganik, serta sisa pereaksi kimia yaitu NaOH dan Na₂S dikenal sebagai *black liquor* atau lindi hitam.

MATERIAL DAN METODE

Material

Lignin yang digunakan dalam penelitian ini merupakan lignin yang diisolasi dari limbah *black liquor* yang diperoleh dari PT. Riau Andalan Pulp and Paper (PT. RAPP). Bahan pengisi silika dan antidegradan yang digunakan berasal dari PT Multistrada Arah Sarana, Tbk. Kemudian untuk proses pembuatan *compound* digunakan bahan-bahan sebagai berikut: *styrene butadiene rubber* (SBR), *butadiene rubber* (BR), *filler additive*, *carbon black*, *silane coupling agent*, *activator*, antidegradan, *processing aid*, sulfur, dan *accelerator*. Semua bahan untuk pembuatan *compound* diperoleh dari PT Multistrada Arah Sarana, Tbk.

Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 tahap, yaitu pembuatan *compound* dan pengujian.

Pembuatan Compound

Pembuatan *compound* dilakukan pada mesin Banbury dengan kapasitas 2,6 L dan *fill factor* 0,7. Proses pembuatan *compound* terbagi menjadi 2 tahap, yaitu *masterbatch* dan *final mix*. *Masterbatch* merupakan tahap pencampuran awal dimana semua bahan kecuali sulfur dan *accelerator* dimasukkan ke dalam mesin. Kemudian *final mix* merupakan proses pencampuran akhir dengan menambahkan bahan vulkanisasi. *Compound* hasil proses *final mix* kemudian dilewatkan pada *double roll mill* menjadi bentuk lembaran dengan ketebalan tertentu. *Compound* dibuat sesuai dengan formula yang terdapat pada Tabel 1. Jumlah dari tiap material dinyatakan dengan satuan phr (*parts per hundred rubber*), yaitu jumlah material dalam berat tiap 100 bagian karet.

8 November 2017

TABEL 1. Formula *compound* dalam phr

Bahan	Nama <i>Compound</i>		
	Kontrol	Lignin (10 phr)	Lignin (15 phr)
SBR/BR	100,0	100,0	100,0
Carbon black	19,0	19,0	19,0
Silika	72,0	62,0	57,0
Coupling agent	11,5	10,8	10,0
Lignin		10,0	15,0
Activator	4,5	4,5	4,5
Antidegradant	3,8	3,8	3,8
Processing aid	2,0	2,0	2,0
Natural resin	7,0	7,0	7,0
Retarder	0,3	0,3	0,3
Sulfur	1,9	1,9	1,9
Accelerator	1,1	1,3	1,3

Pengujian

Karakterisasi kemampuan proses dari kompon dilakukan dengan menggunakan Rheometer MDR 2000. Kompon dipotong berbentuk lingkaran dengan volume $9,5 \pm 0,5$ cm³ menggunakan alat pemotong spesimen. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam Rheometer dan diberi beban torsi sambil dipanaskan pada suhu 165 °C untuk memulai vulkanisasi. Mesin akan mencatat grafik kenaikan torsi terhadap waktu pemanasan sampel. Dari grafik kemudian dapat diperoleh 3 sifat, yaitu viskositas, *scorch time*, dan *cure time*.

Pengujian statik dari vulkanisat meliputi pengujian kekerasan dan sifat tarik (modulus 100, modulus 300, *tensile break*, dan *elongation break*) pada kondisi *fresh* (16 jam setelah vulkanisasi) dan *aging* (dipanaskan pada suhu 100 oC selama 24 jam). Kondisi *aging* tersebut pada data aktualnya merepresentasikan kondisi ban setelah pemakaian selama lebih dari 1 tahun, sehingga dapat dilihat sifat ketahanan termal dan degradasi dari ban. Sampel yang digunakan berbentuk dumbbell tipe 3 dengan dimensi gage length panjang 25 mm, dan lebar 6 mm sesuai standar ISO 37-2005. Kecepatan penarikan mesin yaitu 500 mm/menit dengan jumlah pengujian 3 kali untuk tiap variasi sampel.

Pengujian

Karakterisasi kemampuan proses dari kompon dilakukan dengan menggunakan Rheometer MDR 2000. Kompon dipotong berbentuk lingkaran dengan volume $9,5 \pm 0,5 \text{ cm}^3$ menggunakan alat pemotong spesimen. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam Rheometer dan diberi beban torsi sambil dipanaskan pada suhu $165 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk memulai vulkanisasi. Mesin akan mencatat grafik kenaikan torsi terhadap waktu pemanasan sampel. Dari grafik kemudian dapat diperoleh 3 sifat, yaitu viskositas, *scorch time*, dan *cure time*.

Pengujian statik dari vulkanisat meliputi pengujian kekerasan dan sifat tarik (modulus 100, modulus 300, *tensile break*, dan *elongation break*) pada kondisi *fresh* (16 jam setelah vulkanisasi) dan *aging* (dipanaskan pada suhu $100 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam). Kondisi *aging* tersebut pada data aktualnya merepresentasikan kondisi ban setelah pemakaian selama lebih dari 1 tahun, sehingga dapat dilihat sifat ketahanan termal dan degradasi dari ban. Sampel yang digunakan berbentuk dumbbell tipe 3 dengan dimensi gage length panjang 25 mm, dan lebar 6 mm sesuai standar ISO 37-2005. Kecepatan penarikan mesin yaitu 500 mm/menit dengan jumlah pengujian 3 kali untuk tiap variasi sampel.

$$\% \text{ indeks} = \frac{\text{nilai compound kontrol}}{\text{nilai compound lignin}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ indeks} = \frac{\text{nilai compound lignin}}{\text{nilai compound kontrol}} \times 100\% \quad (2)$$

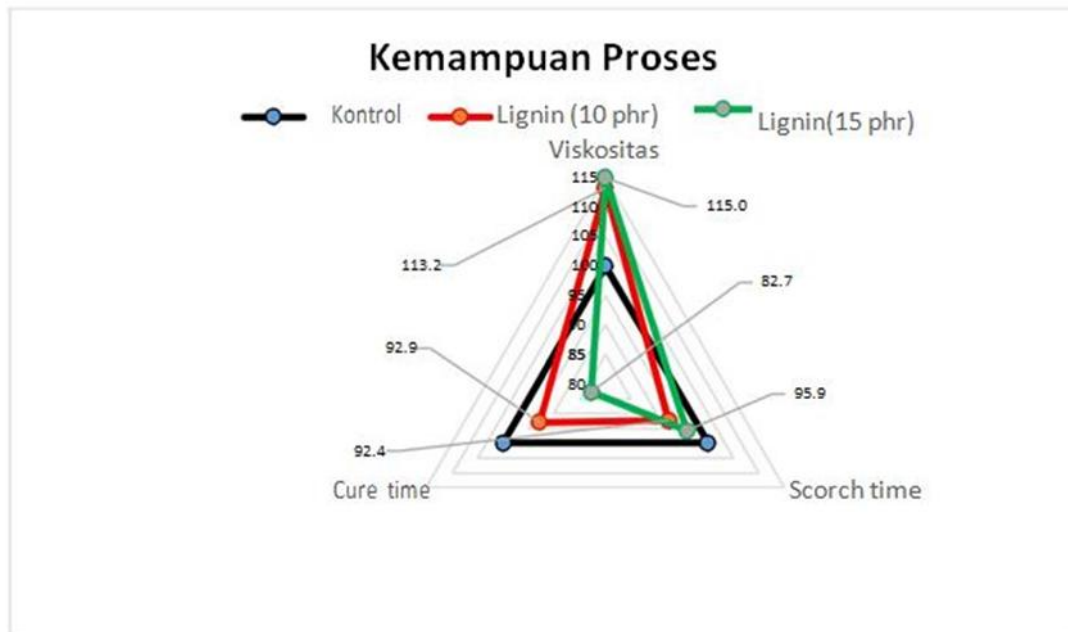
Kemampuan Proses kompon

Kemampuan proses meninjau mudah atau tidaknya suatu kompon untuk diproses yang mencakup 3 sifat, yaitu viskositas, *scorch time*, dan *cure time*. Semakin rendah viskositas kompon, maka semakin mudah untuk diproses karena energi dan waktu yang dibutuhkan untuk proses pencampuran semakin rendah. *Scorch time* merupakan waktu jeda pemrosesan sebelum kompon mengalami vulkanisasi. Ketika telah divulkanisasi, kompon tidak lagi dapat diproses, sehingga semakin lama *scorch time* akan semakin baik untuk kemampuan proses kompon. *Cure time* menggambarkan kecepatan pembentukan ikatan silang pada kompon. Semakin cepat *cure time* maka kemampuan proses kompon akan semakin baik karena waktu pemrosesan menjadi lebih efektif. Hasil pengujian kemampuan proses kompon dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 2.

8 November 2017

TABEL 2. Hasil karakterisasi Rheometer compound Lignin dan Kontrol

Sifat	Satuan	Kompon		
		Kontrol	Lignin (10 phr)	Lignin (15 phr)
Viskositas	m.u.	59,2	52,9	51,5
Scorch time	menit	13,9	12,8	13,3
Cure time	menit	9,2	10,0	11,1

**GAMBAR 2.** Perbandingan kemampuan proses kompon lignin dengan control

Kompon lignin memiliki viskositas yang lebih rendah dibanding dengan kompon kontrol sehingga kemampuan prosesnya menjadi lebih baik. Lignin memiliki densitas yang lebih rendah daripada silika, secara berurutan yaitu $1,3 \text{ g/cm}^3$ dan $2,65 \text{ g/cm}^3$. Perbedaan densitas lignin dengan densitas silika akan berpengaruh terhadap densitas kompon. Densitas kompon yang rendah biasanya akan menyebabkan viskositas menjadi menurun sehingga kompon menjadi lebih mudah untuk diproses. Semakin banyak lignin yang digunakan maka densitas kompon akan semakin menurun sehingga kompon lignin 15 phr memiliki nilai viskositas lebih rendah dibanding kompon 10 phr dan kompon kontrol. Namun, *cure time* kompon lignin lebih lama dibanding dengan kompon kontrol. Hal ini terjadi karena lignin memiliki ukuran molekul yang besar sehingga menghalangi tempat pembentukan ikatan silang antar rantai karet. *Scorch time* dari kompon lignin memiliki nilai yang lebih rendah daripada kompon kontrol.

8 November 2017

Grup hidroksil dikenal dapat mempercepat proses vulkanisasi [6]. Lignin memiliki grup hidroksil yang berjumlah sangat banyak pada permukaannya sehingga dengan adanya lignin didalam kompon maka akan mempercepat vulkanisasi dan menurunkan *scorch time*.

Sifat Mekanik Vulkanisat

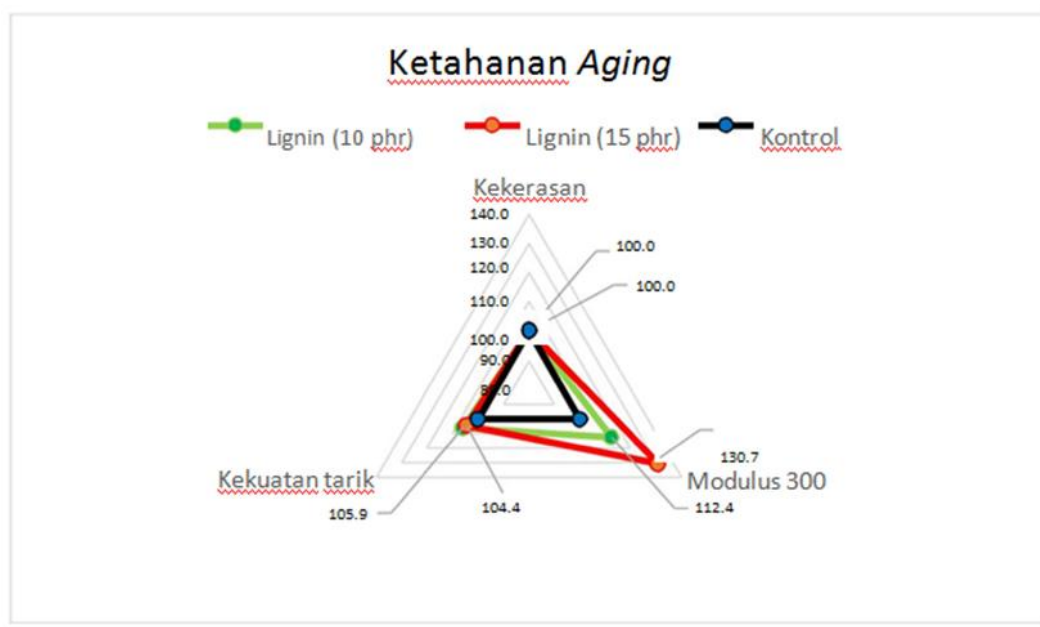
Sifat mekanik dari vulkanisat Lignin dibandingkan dengan Kontrol sebagai acuan. Hasil pengujian sifat mekanik dapat dilihat Tabel 3, dan grafik perbandingan sifat mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.

TABEL 3. Hasil pengujian sifat mekanik vulkanisat Lignin dan Kontrol

Sifat	Satuan	Vulkanisat		
		Kontrol	Lignin (10 phr)	Lignin (15 phr)
Kekerasan	Shore-A	68,0	68,0	68,0
Modulus 300	MPa	8,6	8,0	7,0
Kekuatan tarik	MPa	16,2	16,9	14,8

<i>Aging Condition</i>				
Sifat	Satuan	Vulkanisat		
		Kontrol	Lignin (10 phr)	Lignin (15 phr)
Kekerasan	Shore-A	72,0	72,0	72,0
Modulus 300	MPa	10,9	11,4	11,6
Kekuatan tarik	MPa	15,2	16,8	14,5

Lignin memberikan kontribusi yang cukup signifikan pada ketahanan *aging* kompon. Dapat dilihat pada Gambar 3, kompon lignin memiliki ketahanan *aging* yang lebih baik dalam hal modulus dan kekuatan tarik dibanding dengan kompon kontrol. Hal ini disebabkan oleh struktur lignin yang cenderung mirip dengan struktur antidegradan. Antidegradan yang biasanya digunakan ialah molekul yang mengandung gugus siklik dan fenolik. Lignin juga mengandung gugus siklik dan fenolik dalam molekulnya sehingga sangat berpotensi untuk berperan sebagai antidegradan didalam kompon. Lignin juga memiliki struktur yang kaku sehingga meningkatkan modulus kompon. semakin banyak jumlah lignin, maka akan semakin meningkatkan modulus kompon. Hal inilah yang menyebabkan kompon lignin 15 phr memiliki nilai modulus lebih tinggi daripada kompon yang lain.



GAMBAR 3. Perbandingan sifat mekanik kompon lignin dengan kompon control pada kondisi *fresh* dan *aging*

KESIMPULAN

Substitusi lignin sebanyak 10 dan 15 phr dapat menurunkan viskositas masing-masing sebesar 13,2% dan 16,3% terhadap kompon kontrol sehingga kompon semakin mudah untuk diproses, sedangkan nilai *scorch time* dan *cure rate* menurun. Untuk pengujian sifat mekanik dalam kondisi *aging*, substitusi lignin 10 dan 15 phr meningkatkan kekakuan masing-masing sebesar 30,7% dan 12,4% dan juga meningkatkan kekuatan tarik masing-masing sebesar 4,4% dan 5,9%. Dalam hal ini, lignin dapat berperan sebagai antidegradan didalam kompon karena dapat meningkatkan ketahanan *aging* kompon.

ACKNOWLEDGEMENTS

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada PT Multistrada Arah Sarana, Tbk yang telah menyediakan bahan untuk pembuatan *compound* serta memberikan fasilitas dan bantuan dalam pembuatan serta pengujian spesimen. Penelitian ini merupakan kerjasama antara PT Multistrada Arah Sarana, Tbk dan Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.

REFERENSI

1. Faruk, Omar dan Sain, Mohini. 2016. *Lignin in Polymer Composites*. Elsevier: USA
2. Jingjing, Li. 2011. *Isolation of Lignin from wood*. Saima University: Finland.
3. Brodin, Ida. 2009. *Chemical properties and Thermal Behaviour of kraft lignins*. KTH Chemical Science and Engineering: Stockholm, Sweden.
4. Ek, Monica, Gellerstedt, Göran dan Henriksson, Gunnar. 2009. *Pulp and paper Chemistry and Technology*. KTH-Royal Institute of Technology: Sweden
5. Shoimah, Silvia Maratus. 2016. "Pembuatan *Coating* Baja Berbahan Dasar Lignin Hasil Isolasi dari Limbah Kraft Black Liquor dan Lignin Komersial". ITB: Bandung
6. Bahl, Kushal. 2014. *Surface Modification of Lignosulfonates for Reinforcement of Styrene-Butadiene Rubber Compounds*. Imatra: University of Akron 2014.

8 November 2017

Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Sifat Mekanik Bio-Komposit Serat *Sansevieria Trifasciata*/Polypropylene

Apang Djafar Shieddieque^{1,2 A)}, Mardiyati^{1, B)}, Rochim Suratman^{1, C)}, & Bambang Widyanto^{1, D)}

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Ganesha 10, Bandung,

²Fakultas Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Jln Cikopak No. 53,

Purwakarta, 41151, Indonesia

^{a)}apang_djafar@yahoo.com ^{b)}mardiyati@material.itb.ac.id ^{c)}rochim@material.itb.ac.id

^{d)}bambang.widyanto@material.itb.ac.id

ABSTRACT

The Aim of this research were to investigate the effect of alkaline treatment on the mechanical properties of material bio-composite *sansevieiria trifasciata* fiber/Polypropylene and to analyze the morphology of interfacial bond between fiber and matrix. In this research, bio-composites *sansevieria trifasciata* fiber/Polypropylene was manufactured by using a hot press method with temperature 240°C and pressure 140 Bar for 10 minutes. Fibers were extracted from *Sansevieria trifasciata* by using mechanical retting. In this experiment, the mechanical properties and morphology of alkaline treated fiber and non-alkaline treated fiber was investigated, the fibers were treated by NaOH 3% (w/w) solution at temperature 100°C for an hour. The volume fraction of fiber used in this experiment were 0%, 5%, 10%, and 15% with unidirectional orientation. Actual density and mechanical properties of bio-composite were conducted based on ASTM standard testing methods D792 and D3039. In this research, it found that tensile strength, modulus of elasticity and elongations of *sansevieria trifasciata*/polypropylene bio-composite alkaline treated were higher than that of untreated. The fracture analysis was investigated by scanning electron microscope (SEM). The highest tensile strength and stiffness of bio-composites were 59.77 MPa and 1.98 GPa respectively, obtained from bio-composites with volume fraction of unidirectional alkaline treated fiber 15%. Morphological feature based on scanning electron microscope (SEM) observation showed that alkaline treated fibers had better interface bond compared to non-alkaline treated fibers.

Keywords: Alkaline treatment, Bio-composite, Polypropylene, *Sansevieria Trifasciata*, Tensile Strength

8 November 2017

PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan mobil yang semakin meningkat menyebabkan adanya permasalahan lingkungan, seperti meningkatnya penggunaan bahan bakar minyak dan menyebabkan tingginya emisi CO₂ yang dihasilkan dari sisa pembakaran [1,2]. Salah satu cara yang paling efektif untuk mengurangi permasalahan ini adalah dengan mengurangi berat kendaraan, sehingga dengan jarak tempuh yang sama maka konsumsi bahan bakar kendaraan menjadi lebih sedikit [3]. Upaya untuk mengurangi berat kendaraan ini telah dilakukan dengan penggunaan material dengan berat jenis lebih ringan sebagai komponen pada automotive, seperti halnya material plastik [1]. Namun, material plastik seperti polipropilena yang banyak digunakan pada komponen kendaraan terkadang memiliki keterbatasan sifat mekanik. Untuk meningkatkan sifat mekanik dari material plastik biasanya digunakan serat sebagai penguat, atau disebut dengan material komposit. Umumnya serat yang digunakan sebagai penguat adalah serat gelas, namun tingginya penggunaan serat gelas membawa permasalahan lain bagi lingkungan, hal ini dikarenakan bahan bakunya yang berasal dari bahan yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*) serta pemrosesannya yang membutuhkan energi sangat besar. Oleh karena itu, serat alam dijadikan alternatif sebagai pengganti serat gelas, hal ini karena kelimpahannya sangat tinggi dan berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui (*renewable*), serta energi untuk memproduksinya lebih rendah dibandingkan serat gelas [2,3,4].

Dalam penelitian ini, dibuat komposit dengan serat alam sebagai penguat dan polipropilena sebagai matriks. Serat berasal dari tanaman *Sansevieria trifasciata* atau yang biasa disebut dengan tanaman lidah mertua. Salah satu permasalahan utama pada komposit serat *Sansevieria*/polipropilena adalah ikatan antar muka serat dan matriks, dimana ikatan ini sangat mempengaruhi sifat mekanik dari produk komposit yang dihasilkan. Ikatan antarmuka tersebut dapat ditingkatkan dengan memodifikasi morfologi permukaan serat, sehingga dapat terjadi ikatan yang baik antara serat dan matriks. Modifikasi morfologi permukaan serat dilakukan dengan menghilangkan kandungan non-selulosa seperti hemiselulosa dan lignin dipermukaan serat dengan menggunakan perlakuan alkali [2,3,4]. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perlakuan alkali dengan konsentrasi 3% NaOH pada 100°C selama 2 jam terhadap sifat mekanik komposit serat *Sansevieria*/polipropilena dengan fraksi serat 0%, 5%, 10% dan 15%.

8 November 2017

MATERIAL DAN METODE

Berikut ini merupakan material dan metode yang digunakan pada penelitian ini.

Material

Dalam penelitian ini digunakan daun dari tanaman *Sansevieria* dan polimer polipropilena. Daun *Sansevieria* didapatkan dari daerah Citarum, Bandung, sedangkan polipropilena diperoleh dari PT Chandra Asri Petrochemical. Serat *Sansevieria* diambil dari daunnya dengan metode *mechanical retting*, lalu dibilas menggunakan air untuk menghilangkan komponen daun pada serat, kemudian dikeringkan dengan cara didiamkan pada temperatur ruang selama satu hari. NaOH yang digunakan didapat dari Bratachem, Bandung.

Metode

Perlakuan Alkali

10 gram serat *Sansevieria* dimasukkan kedalam refluks bersama dengan larutan 3% NaOH yang ditahan pada temperatur 100°C, dengan rasio serat berbanding larutan sebesar 1:100. Proses pemanasan ini dilakukan selama 2 jam, setelah itu serat dicuci dan dinetralisir dengan *aqua demineralized*, lalu dikeringkan pada temperatur ruang selama 1 hari.

Manufaktur Komposit

Komposit serat *Sansevieria*/polipropilena dibuat dengan menggunakan alat cetak tekan panas (*hot compression molding*) pada temperatur 240°C dengan tekanan 140 bar selama 10 menit. Orientasi serat disusun menjadi searah (*unidirectional*) dengan fraksi serat sebesar 0%, 5%, 10% dan 15%.

Pengujian

Karakter serat *Sansevieria* tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali dilihat dengan menggunakan mikroskop optik, sedangkan morfologi serat dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Karakterisasi sifat fisik penyusunan komposit (serat dan matriks) berupa densitas diuji dengan menggunakan ASTM D792. Sifat tarik serat *Sansevieria* tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali diuji dengan mesin Textechno Favigraph berdasarkan ASTM D3822. Sifat tarik komposit polipropilena berpenguat serat *sansevieria trifasciata* diuji berdasarkan ASTM D638-14 dengan alat uji tarik Tensilon RTF-1310.

8 November 2017

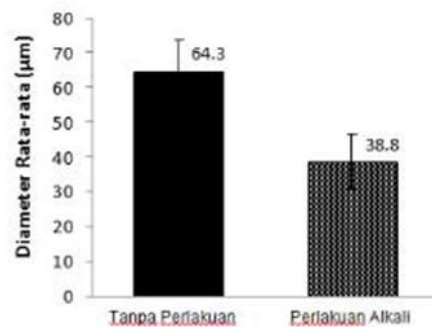
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Sifat Fisik Serat *Sansevieria*

Densitas dari serat *Sansevieria* tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa densitas serat *Sansevieria* yang telah diberikan perlakuan alkali menjadi meningkat dari 1100 kg/m^3 menjadi 1300 kg/m^3 . Hal tersebut dikarenakan terjadinya densifikasi serat, dimana kandungan non-selulosa yang larut meninggalkan ruang kosong yang ketika serat dikeringkan serat-seratnya menempel satu sama lain menjadi lebih rapat. Hal tersebutpun dapat dilihat pada perubahan diameter serat, pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa diameter serat dengan perlakuan alkali lebih kecil karena komponen penyusun serat menjadi lebih sedikit akibat non-selulosa yang larut.

Tabel 1. Densitas serat *Sansevieria*

<i>Sansevieria</i> Fiber	Density (kg/m^3)
Tanpa Perlakuan	1100
Perlakuan Alkali 3%	1300



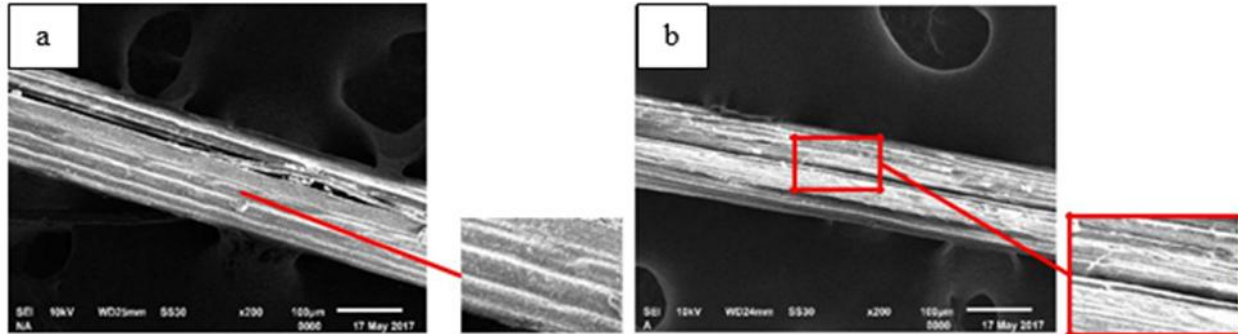
Gambar 1. Diameter rata-rata serat tanpa dan dengan perlakuan alkali

Morfologi Permukaan Serat *Sansevieria*

Pengaruh perlakuan alkali terhadap permukaan serat dapat dilihat pada gambar morfologi serat dengan menggunakan *Scanning Microscope Electron* (SEM) yang ditunjukkan oleh Gambar 2 a dan b. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa serat *Sansevieria* yang diberikan perlakuan alkali (Gambar 2.b) lebih kasar dibandingkan serat *Sansevieria* tanpa perlakuan alkali (Gambar 2.a).

8 November 2017

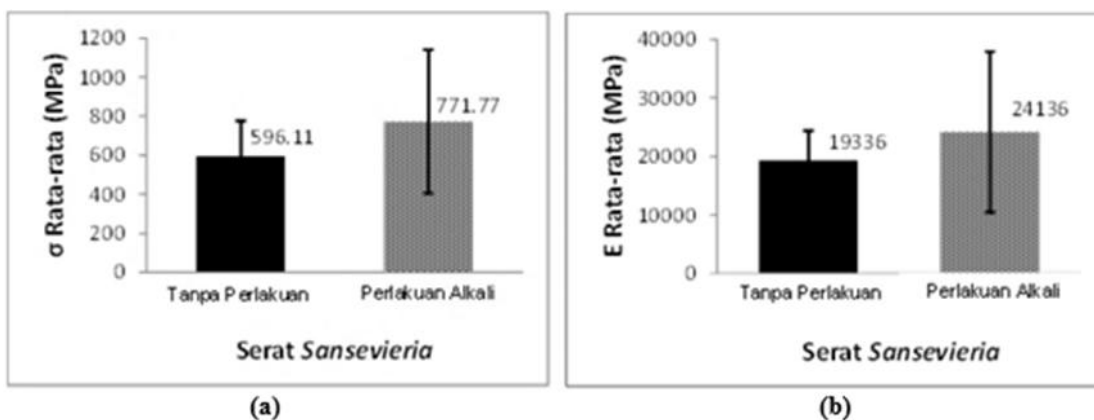
Serat yang lebih kasar dapat meningkatkan kompatibilitas antar serat dan matriks karena dapat meningkatkan ikatan mekanik berupa ikatan *interlocking* antar serat dan matriks



Gambar 2 (a). Morfologi serat tanpa perlakuan **(b).** Morfologi serat dengan perlakuan Alkali (3% NaOH)

Sifat Tarik Serat Sansevieria

Kekuatan tarik dan modulus rata – rata serat *Sansevieria* tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali dapat dilihat pada Gambar 3a dan 3b. Berdasarkan grafik pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa serat *Sansevieria* yang diberi perlakuan alkali 3% NaOH memiliki kenaikan sifat tarik. Serat dengan perlakuan alkali tersebut memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata 772 MPa dan kekakuan rata-rata 24,1 GPa. Meningkatnya kekuatan tarik serat setelah diberikan perlakuan alkali tersebut karena hilangnya hemiselulosa akibat proses perlakuan alkali, sehingga menyebabkan adanya ikatan hidrogen baru yang terbentuk di antara rantai selulosa, sehingga serat lebih mampu menahan beban luar.

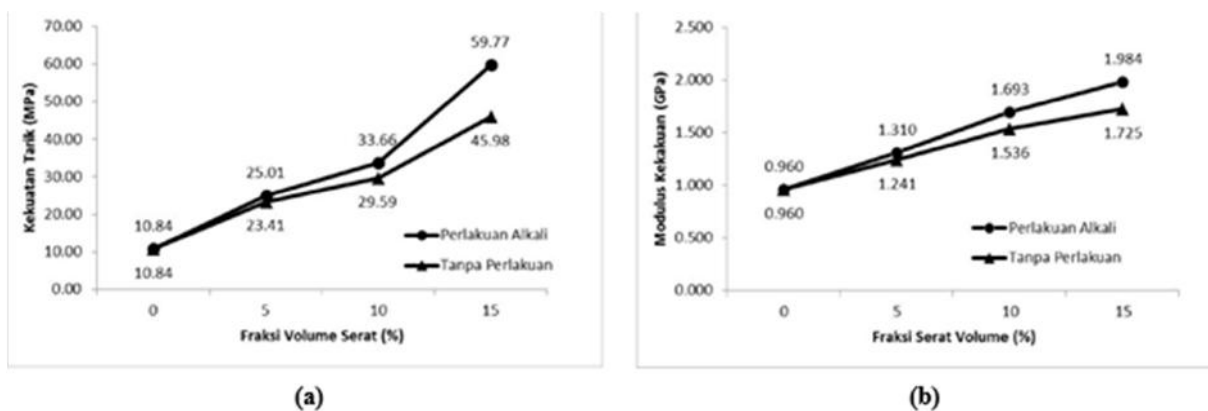


Gambar 3. (a) Kekuatan tarik rata-rata **(b)** Kekakuan rata-rata serat *Sansevieria*

8 November 2017

Sifat Tarik Komposit Polipropilena/ Serat *Sansevieria* (Searah)

Hasil Pengujian tarik komposit serat searah yang dihasilkan dengan berbagai variasi fraksi volume serat dapat dilihat pada Gambar 5 (a) dan (b). Pada komposit serat lurus searah didapatkan bahwa semakin tinggi fraksi volume serat maka kekuatan dan kekakuannya menjadi semakin tinggi. Kekuatan dan kekakuan komposit tertinggi didapatkan oleh komposit dengan fraksi volume 15%, yaitu 59.77 Mpa atau meningkat 82% dari kekuatan awal PP dan 1.98 GPa atau meningkat 52% dari kekakuan awal.

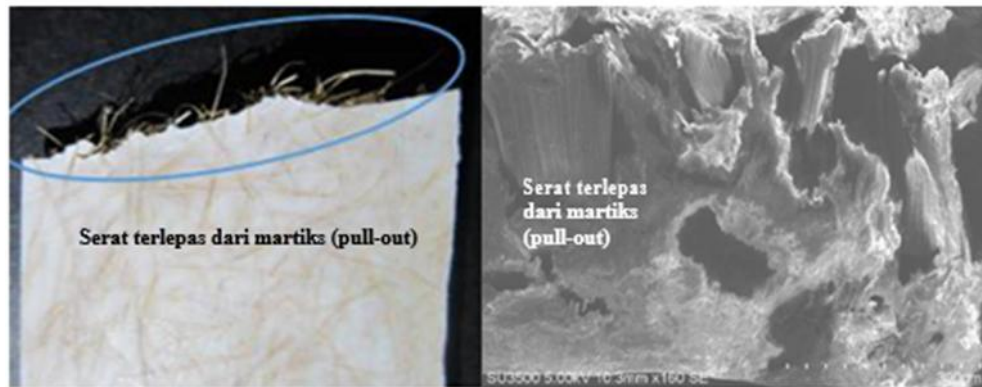


Gambar 4.(a) Kekuatan tarik ultimate **(b)** Modulus kekakuan komposit PP/Sansevieria searah

Analisis Patahan Komposit PP/Serat *Sansevieria*

Gambar 5 dan 6 adalah morfologi patahan yang diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Morfologi patahan uji tarik komposit PP berpenguat serat tanpa perlakuan ditunjukkan pada Gambar.5 dimana pada bagian patahan terlihat banyaknya serat yang terlepas dari matriksnya atau *pull out*. Gambar. 6 merupakan morfologi patahan uji tarik komposit berpenguat serat dengan perlakuan alkali dimana pada bagian patahan terlihat serat yang terlepas dari matriksnya relatif lebih sedikit. Hal ini disebabkan karena kekuatan serat hasil perlakuan alkali memiliki ikatan antarmuka dengan matriks yang lebih baik dari serat tanpa perlakuan alkali sehingga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan kekakuan komposit berpenguat serat *sansivieria trifasciata*.

8 November 2017



Gambar 5 Morfologi Patahan hasil pengujian tarik komposit serat *Sansevieria* tanpa perlakuan/PP



Gambar 6 Morfologi Patahan hasil pengujian tarik komposit serat *Sansevieria* dengan perlakuan Alkali/PP

KESIMPULAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, dibuat komposit PP/serat *Sansaviera* dengan serat tanpa perlakuan dan dengan perlakuan alkali (3% NaOH). Kekuatan tarik dan modulus kekakuan tertinggi didapat dari komposit PP/serat *Sansevieria* searah dengan fraksi volume 15%, yaitu 59,77 MPa untuk kekuatan tarik *ultimate* dan 1,98 GPa untuk modulus kekakuannya. Nilai kekuatan tarik dan modulus kekakuan tersebut meningkat berturut – turut sebesar 82% dan 52% dari kekuatan dan kekakuan polipropilena.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada PT.Chandra Asih Petrochemical yang telah membantu menyediakan High Impact Polypropylene.

REFERENSI

1. A. Elmarakbi, *Advanced Composite Material for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness*, Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2014.
2. A. K. Mohanty, M. Misra dan T. L. Drzal, *Natural Fibers, Biopolyemers, and Biocomposites*, New York: Taylor and Francis Group, LLC, 2005.
3. D. D. Stokke, Q. Wu dan G. Han, *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites*, Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2014.
4. European Comission, "European Comission Climate Action," [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en
5. Holbery, James. And Houston, Dan. 2016 *Natural-fiber-reinforced Polymer Composite in Automotive Application.. JOM*.
6. Mardiyati , Steven, Raden Reza Rizkiansyah, A.Senoaji , Dan R. Suratman, 2015 "Effects Of Alkali Treatment On The Mechanical And Thermal," *Aip Conference Proceeding*, P. 1725.
7. Strong, A. Brent 1996: *Plastic Materials and Processing*. 3rd edition Pearson Prentice Ha

Ekstraksi Dan Pemurnian Organosolv Lignin Dari Limbah Serbuk Kayu MerantiSteven^{1, A}, Mardiyati^{2, B}, Silvia Mar'atus Shoimah^{3, C}, Arif Basuki^{4, D}, & Rochim Suratman^{5, E}¹Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara,

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

^{a)}steven33116302@student.itb.ac.id ^{b)}mardiyati@material.itb.ac.id^{c)}silvia.maratus999@gmail.com ^{d)}arifbasuki@material.itb.ac.id^{e)}rochim@material.itb.ac.id**ABSTRACT**

Organosolv pulping is a promising pathway to extract high purity lignin from biomass. Organosolv pulping are able to produce higher pulp yield and diminished environmental stress as compared to the kraft pulping. The aim of this research was to investigated the extraction efficiency and purity of organosolv lignin which extracted from meranti wood waste powder with different concentration of ethanol. In this work, meranti wood waste powder were refluxed in ethanol solution with different concentration i.e 0%, 16.6%, 33.3%, 50%, 66.6%, 83.3%, 100% v/v at boiling temperature of the solution for two hours. Purification process were prepared by refluxed the extracted organosolv lignin into aqua dm at 100 °C for two hours. The purity of organosolv lignin were determined by ash content test, volatile content test and klasson lignin. The highest yield were obtained for organosolv lignin prepared by using 83.3% ethanol solution, that is 3.3%. The highest purity of organosolv lignin were obtained for organosolv lignin prepared by using 66.6% ethanol solution, that is 92%.

PENDAHULUAN

Lignin merupakan polimer alam paling melimpah kedua didunia setelah selulosa[1-2]. Didalam tumbuhan, lignin tersusun bersama selulosa dan hemiselulosa membentuk suatu sistem yang dikenal dengan istilah lignoselulosa[3-4]. Saat ini, lignin banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku serat karbon, coating, adhesif dan bahan bakar[1]. Untuk mengekstraksi lignin dari lignoselulosa, diperlukan suatu perlakuan untuk memisahkan lignin dari lignoselulosa yang dikenal dengan istilah proses delignifikasi[3].

Hingga saat ini, terdapat beberapa metode delignifikasi yang umum digunakan, antara lain proses kraft, proses soda, proses sulfite dan proses organosolv[1,3]. Berdasarkan dari data kemurnian yang diperoleh, metode organosolv merupakan metode delignifikasi yang paling disukai karena dapat menghasilkan lignin dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode delignifikasi lainnya serta bersifat bebas sulfur [1,5]. Secara umum, metode organosolv merupakan metode pelarutan lignin dari lignoselulosa dengan memanfaatkan pelarut organik seperti, metanol, etanol, aseton dan air[6-7].

Jenis pelarut yang digunakan dalam proses organosolv sangat menentukan efisiensi dan kualitas dari lignin yang dihasilkan[6-7]. Berdasarkan literatur, campuran antara etanol dan air merupakan pelarut organik terbaik untuk melarutkan lignin dari lignoselulosa melalui metode organosolv[6].

Limbah serbuk kayu meranti merupakan salah satu jenis limbah organik yang banyak ditemukan di industri mebel. Berdasarkan data Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, industri mebel Indonesia setidaknya menghasilkan 3.6 juta m³ limbah serbuk kayu meranti setiap tahunnya[8]. Didalam proses pembuangannya, para pengrajin industri mebel umumnya membuang limbah tersebut ke TPA ataupun membakar limbah serbuk kayu yang berpotensi untuk mencemari udara didaerah sekitar industri mebel tersebut.

Secara umum, limbah serbuk kayu meranti memiliki kandungan lignin yang cukup tinggi, yaitu sekitar 33%[3]. Kandungan lignin yang cukup tinggi menjadikan limbah serbuk kayu meranti berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber bahan baku penghasil organosolv lignin.

Pada penelitian ini, limbah serbuk kayu meranti dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku organosolv lignin dan dikaji mengenai pengaruh konsentrasi etanol dalam proses delignifikasi terhadap yield dan tingkat kemurnian organosolv lignin yang diperoleh.

MATERIAL DAN METODE

Materia

Limbah serbuk kayu meranti diperoleh dari industri mebel PT. Kharisma Multi Mandiri, Jakarta. Etanol 96% dan aqua dm diperoleh dari PT. Brataco Chemika. Asam sulfat 98% diperoleh dari PT. Merck Tbk.

Metode

Ekstraksi Lignin dari Limbah Serbuk Kayu Meranti. Limbah serbuk kayu meranti direndam didalam larutan etanol dengan konsentrasi 0%, 16.67%, 33.3%, 50%, 66.67%, 83.3% dan 100% pada temperatur didih larutan selama 2 jam. Perbandingan berat antara limbah serbuk kayu meranti terhadap larutan etanol adalah 1:15. Kemudian campuran antara limbah serbuk kayu meranti dan larutan etanol disaring. Filtrat (fraksi yang lolos dari saringan) diuapkan dengan menggunakan oven pada temperatur 100⁰ C hingga terbentuk padatan lignin.

Pemurnian Lignin. Padatan lignin yang diperoleh di refluks dengan menggunakan air pada temperatur didihnya selama 2 jam. Kemudian campuran antara padatan lignin dan air disaring. Residu yang dihasilkan, dikeringkan hingga berat dari padatan konstan.

Pengujian Klasson Lignin. Pengujian klasson lignin dilakukan untuk mengetahui tingkat kemurnian lignin didalam padatan lignin. 1 gram padatan lignin (a) direndam didalam larutan asam sulfat 72% dan distirrer dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam. Kemudian campuran antara asam sulfat dan lignin ditambahkan dengan air hingga konsentrasi asam sulfat menjadi 3%. Campuran antara larutan asam sulfat 3% dan lignin direfluk pada temperatur didih larutan asam sulfat 3% selama 4 jam. Kemudian larutan disaring dan dikeringkan hingga berat residu konstan (b). Penentuan tingkat kemurnian lignin dapat dilihat pada persamaan 1.

$$\text{Kemurnian lignin} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (1)$$

8 November 2017

Pengujian Kandungan Abu. 1 gram padatan lignin dipanaskan pada temperatur 600 °C selama 6 jam. Hasil sisa pemanasan dibiarkan hingga dingin dan ditimbang. Penentuan kadar abu dari padatan lignin ditentukan dengan persamaan 2.

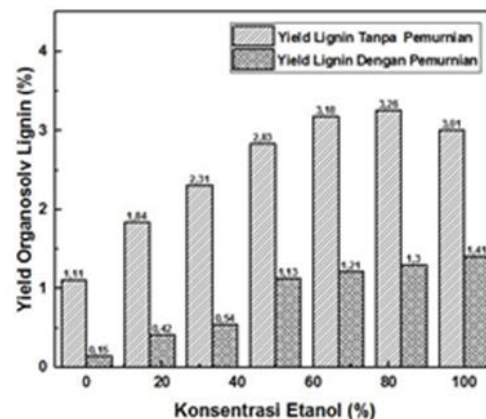
$$\text{Kadar abu} = \frac{b}{a} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari ekstraksi dan pemurnian organosolv lignin dari limbah serbuk meranti dibagi menjadi 3 bagian yaitu pengaruh konsentrasi etanol terhadap yield padatan lignin yang dihasilkan, pengaruh konsentrasi etanol terhadap tingkat kemurnian lignin serta pengaruh konsentrasi etanol terhadap kandungan abu dari padatan lignin yang dijabarkan pada bagian 3.1, 3.2, dan 3.3.

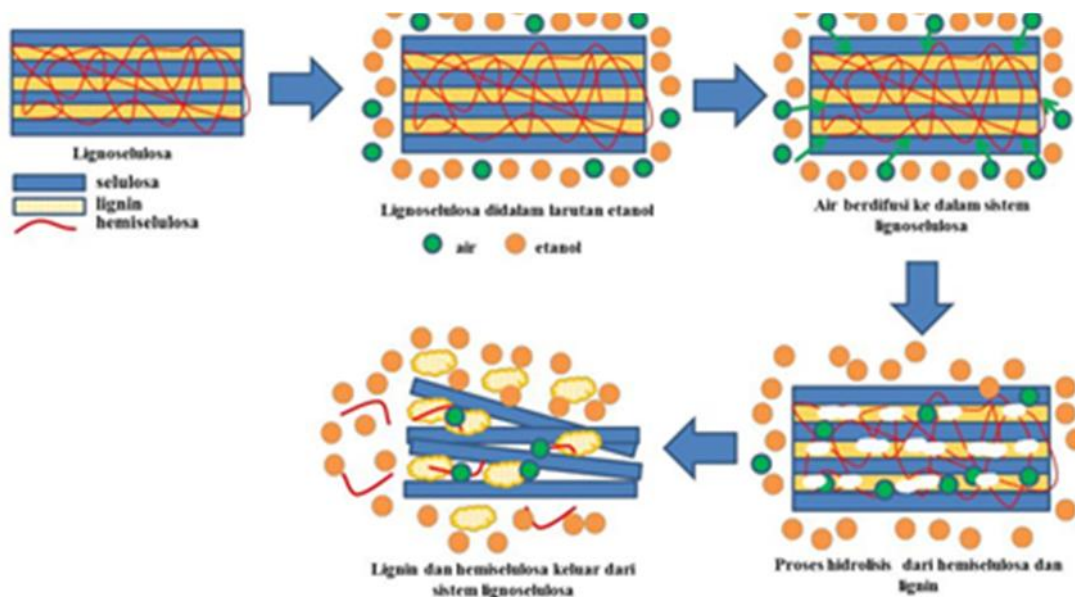
Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Yield Lignin Yang Dihasilkan

Hasil pengukuran yield organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol pada berbagai konsentrasi dengan dan tanpa pemurnian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil pengukuran yield organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol pada berbagai konsentrasi dengan dan tanpa pemurnian

Dari Gambar 1, dapat disimpulkan bahwa yield organosolv lignin tertinggi dimiliki oleh organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol 83.33% untuk organosolv lignin tanpa pemurnian, yakni sebesar 3,26%. Yield organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol 83.33% lebih tinggi dibandingkan organosolv lignin lainnya dikarenakan jumlah air dan etanol pada larutan etanol 83.33% paling efektif untuk memotong dan melarutkan lignin dari limbah serbuk kayu meranti. Mekanisme pemotongan dan pelarutan lignin dari lignoselulosa dengan menggunakan pelarut etanol dapat dilihat pada Gambar 2.



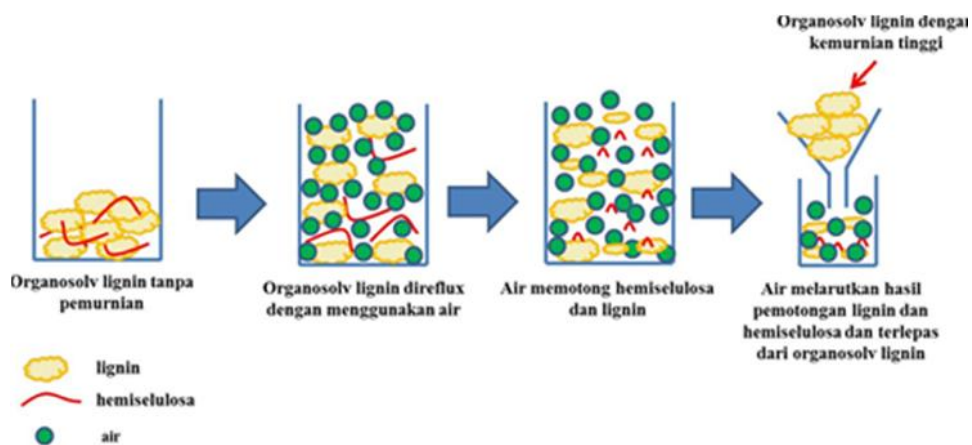
Gambar 2. Mekanisme pemotongan dan pelarutan lignin dan hemicelulosa dari lignoselulosa dengan menggunakan pelarut etanol

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa peran air sangat menentukan proses pemotongan lignin dan hemicelulosa selama proses delignifikasi dan etanol sangat berperan penting untuk menarik lignin dan hemicelulosa keluar dari lignoselulosa. Oleh karena itu, konsentrasi etanol akan sangat menentukan yield organosolv lignin yang dihasilkan selama proses ekstraksi.

Dari Gambar 1 juga dapat disimpulkan bahwa yield organosolv lignin dengan pemurnian lebih rendah dibandingkan dengan yield organosolv lignin tanpa pemurnian di semua konsentrasi larutan etanol.

8 November 2017

Yield organosolv lignin tanpa pemurnian lebih tinggi dibandingkan dengan yield organosolv lignin dengan pemurnian dikarenakan produk hasil hidrolisis dari hemiselulosa terjebak didalam organosolv lignin tanpa pemurnian dan memberikan kontribusi berat pada organosolv lignin tanpa pemurnian. Proses pemurnian menyebabkan hemiselulosa dan lignin berat molekul rendah yang terpotong selama proses pemurnian ikut terlarut dengan air selama proses pemurnian sehingga yield organosolv dengan pemurnian lebih rendah dibandingkan dengan organosolv tanpa pemurnian. Mekanisme penurunan yield organosolv lignin akibat proses pemurnian dapat dilihat pada Gambar 3.

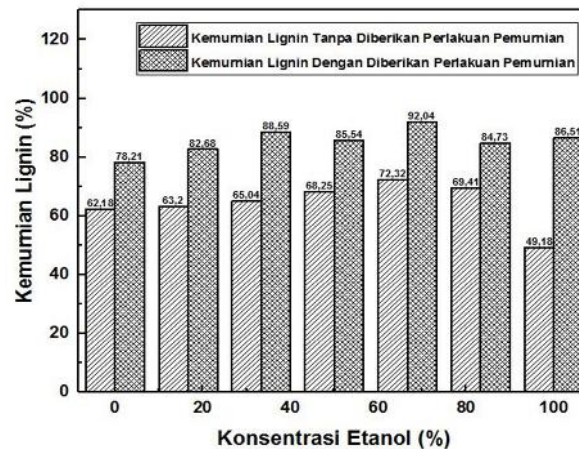


Gambar 3. Mekanisme penurunan yield organosolv lignin akibat proses pemurnian

Selain itu dari Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa yield organosolv lignin yang diberikan perlakuan pemurnian tertinggi adalah 1,41% yang diperoleh dari hasil ekstraksi dengan menggunakan larutan etanol 100%. Hal ini disebabkan selama proses delignifikasi, proses hidrolisis pada organosolv lignin yang diekstraksi dengan larutan etanol 100% lebih sedikit dibandingkan dengan organosolv lignin lainnya sehingga rantai organosolv lignin yang diekstraksi dengan larutan etanol 100% lebih panjang. Rantai organosolv lignin yang lebih panjang (berat molekul lebih tinggi) menyebabkan organosolv lignin rantai pendek yang terlarut dalam air pada proses pemurnian lebih sedikit dibandingkan dengan organosolv lignin lainnya.

Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Kemurnian Organosolv Lignin

Hasil pengukuran kemurnian organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol pada berbagai konsentrasi dengan dan tanpa pemurnian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengukuran kemurnian organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol pada berbagai konsentrasi dengan dan tanpa perlakuan pemurnian

Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa kemurnian organosolv lignin tertinggi diperoleh oleh organosolv lignin yang diekstraksi dengan menggunakan larutan etanol 66,67%, yakni sebesar 92,04%. Selain itu, dari Gambar 4 juga dapat disimpulkan bahwa organosolv yang diberikan perlakuan pemurnian memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan organosolv lignin tanpa diberikan perlakuan pemurnian. Hal tersebut dikarenakan produk sisa hasil hidrolisis dari hemiselulosa terlarut kedalam air selama proses pemurnian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pengaruh Konsentrasi Etanol Terhadap Kadar Abu Organosolv Lignin

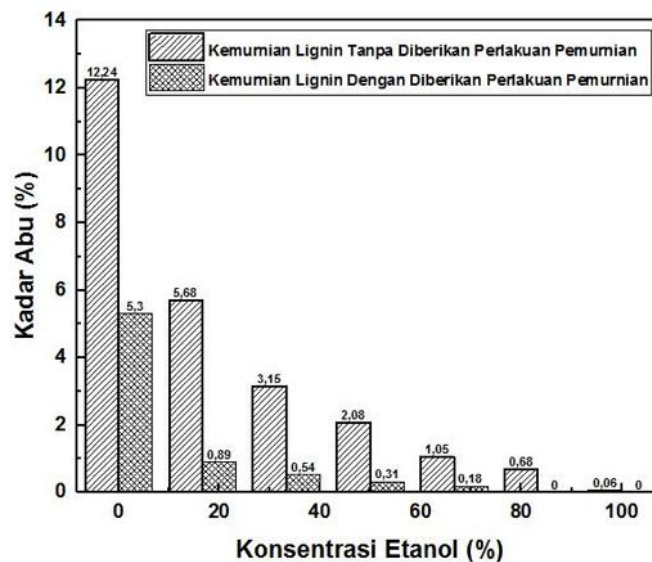
Hasil pengukuran kadar abu dari organosolv lignin yang diekstraksi pada berbagai konsentrasi larutan etanol dengan dan tanpa diberikan perlakuan pemurnian dapat dilihat pada Gambar 5. Dari Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa kandungan abu organosolv lignin tanpa diberikan perlakuan pemurnian terendah diperoleh oleh organosolv lignin tanpa pemurnian yang diekstraksi dengan menggunakan larutan 100% etanol. Selain itu, seiring peningkatan konsentrasi etanol yang digunakan pada saat ekstraksi maka kadar abu dari organosolv lignin yang dihasilkan semakin rendah.

8 November 2017

Hal tersebut dikarenakan zat abu (inorganik) banyak ditemukan didalam tanin dalam bentuk garam dan senyawa. Tanin merupakan salah satu senyawa polifenol yang banyak ditemukan pada kayu dan mudah larut dalam air[3].

Sifat mudah larut dalam air yang dimiliki oleh tanin menyebabkan semakin banyak zat tanin yang terjebak didalam organosolv lignin. Selain itu dari Gambar 5 juga dapat disimpulkan bahwa organosolv lignin yang diberikan perlakuan pemurnian memiliki kadar abu yang lebih rendah dibandingkan dengan organosolv lignin tanpa pemurnian.

Pemurnian organosolv lignin dengan menggunakan air dapat mendisosiasikan garam dan sebagian senyawa inorganik yang terdapat didalam organosolv lignin sehingga kadar abu organosolv lignin akan menurun ketika organosolv lignin diberikan perlakuan pemurnian. Kadar abu yang rendah menghasilkan ekstrak organosolv lignin yang lebih baik.



Gambar 5. Hasil pengukuran kadar abu dari organosolv lignin yang diekstraksi pada berbagai konsentrasi larutan etanol dengan dan tanpa diberikan perlakuan pemurnian

KESIMPULAN

Pada penelitian ini proses pemurnian organosolv lignin memberikan pengaruh terhadap yield, kemurnian dan kadar abu organosolv lignin yang diekstrak dari serbuk kayu meranti.

REFERENSI

1. F. Omar and S. Mohini, *Lignin in Polymer Chemistry* (Elsevier, 2016)
2. C. Flores, J.A. Dobado, and J.I. Garcia, *Lignin and Lignans as Renewable Raw Material* (John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom, 2015)
3. A.K. Mohanty, M. Misra and T.L. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, Taylor and Francis Group. LLC, 2005.
4. R. Prado, X. Erdocia, and J. Labidi, *J Chem Technol Biotechnol* 2013;88: 1248-1257.
5. J.Q. Medina, F.J. Lopez, P. Olivares, *Bioresources Technology* 101 (2010) 8252-8260.
6. L. Jimenez, F. Maestre, M.J. Perez, *Tappi J.* 80, 148-154.
7. L. Jimenez, F. Maestre, M.J. Perez, J.L. Garcia, *Proc. Biochem* 35 (1-2), 143-148
8. Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Statistik Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*, 2014.

**SINTESIS NANOPARTIKEL KARBON DENGAN METODE KOMINUSI UNTUK
PEMBUATAN MEDIA *QUENCH* BERBASIS NANOFLUIDA**

M.B. Yusuf^{1, A)}, A.A. Ambari^{1, B)}, I.T. Aryani^{1, C)}, E. Nuraini^{1, D)}, G. Ramahdita^{1, E)},
S. Harjanto^{1, F)}, & W.N. Putra^{1, G)}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

a) muhammad.bachtiar@ui.ac.id b) ambari.arya@gmail.com c) irmatriaryni@gmail.com

d) elvira.nuraini@gmail.com e) ghiska@metal.ui.ac.id f) harjanto@metal.ui.ac.id

g) wahyuaji@metal.ui.ac.id

ABSTRACT

In heat treatment industries, quench medium is used to increase the cooling rate of heat-treated materials, thus altering their microstructure and properties. Several conventional quench medium, such as salt bath system, petroleum-based oil, and polymers are commonly used, depend on the cooling rate needed for the process. Most of those quench medium, however, are harmful for environment due to their high chemical reactivity, mostly non-reusable and dangerous post-usage product. A recent approach to address this problem is by using nanofluid as quench medium. Nanofluids are colloids obtained by combining high thermal conductivity solid nanoparticles with base fluids, such as water, ethylene glycol, or oil. Water-based nanofluids with carbon nanoparticles are promising candidate as quench medium because of their reusable components, relatively inert element, non-toxic waste, and adjustable quench severity. Carbon nanoparticles are chosen due to their enhanced thermal properties and high thermal conductivity of 1.7 W/mK at 25°C, comparing to other nanoparticle materials with higher cost, such as Al₂O₃, CuO and TiO₂. In this study, ordinary charcoals were comminuted and sieved repeatedly to obtain carbon powder. Furthermore, the powder was milled to get nano-sized carbon particles. The dimension of carbon particles were roughly μm size after sieving, measured by Field Emission Scanning Electron Microscope (SEM). Composition and crystallinity of carbon particle were characterized using Electron Diffraction X-ray Spectroscopy (EDS) and showed a pure carbon x-ray spectrum. Carbon nanoparticles with variation from 0.06 wt% to 0.14 wt% were mixed with 100 ml water as the base fluid to create nanofluid.

This nanofluid was then used as quench medium to quench a steel sample which heated at 1000°C for one hour. The percentage of martensite phase and Vickers hardness will be characterized to observe the effect of nanofluid on the quenched samples.

Keywords: nanofluids, quench medium, comminution, water-based

PENDAHULUAN

Baja JIS S45C adalah tipe *Medium Carbon Steel* yang mengandung unsur karbon 0,3% sampai dengan 0,5%. Baja ini memiliki kekerasan BHN 160-220 di pasaran dan bisa ditingkatkan sifat kekerasannya. Bahan ini termasuk baja mesin yang sangat sering digunakan karena lebih murah dari mesin baja lainnya seperti VCL 140 (AISI 4140) dan VCN 150 (AISI 4340).

Untuk menambah kekerasan pada baja, salah satu metode yang bisa digunakan adalah *quenching*. *Quenching* adalah proses pendinginan cepat logam suhu tinggi ke dalam media pendingin tertentu. Kecepatan pendinginan media pendingin akan menentukan fasa yang terbentuk. Jenis fasa pada baja sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik material. Pada *quenching*, diperlukan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih cepat dari kecepatan pendinginan kritis untuk membentuk fasa martensit [1]. Media pendingin merupakan substansi yang menentukan kecepatan pendinginan dari suatu material setelah dilakukan perlakuan panas. Kecepatan pendinginan oleh suatu media pendingin dipengaruhi oleh kerapatan atom-atomnya. Media pendingin yang memiliki kerapatan tinggi menyebabkan kecepatan pendinginannya semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena jika jarak antar atom kecil maka transfer kalor akan mudah terjadi.

Pengaruh kecepatan pendinginan akan menentukan fasa dan struktur yang terbentuk setelah proses pendinginan. Pendinginan yang cepat akan menghasilkan fasa martensit yang bersifat keras dan rapuh. Transformasi fasa dari austenit yang berstruktur *face centered cubic* (FCC) menjadi fasa martensit yang berstruktur *body centered tetragonal* (BCT) terbentuk akibat unsur karbon tidak sempat berdifusi keluar dari struktur kristalin sehingga terperangkap dan membentuk sebuah fasa yang mengandung karbon terlampau jenuh [4].

Sedangkan kecepatan pendinginan yang lambat akan membentuk fasa perlit dan sementit di mana hal ini disebabkan oleh karbon yang mampu berdifusi keluar struktur kristalin dan membentuk fasa dengan kandungan karbon yang lebih rendah sehingga sifatnya lebih lunak dan lebih ulet dibanding martensit.

Air sebagai *base fluid* merupakan salah satu media pendingin yang memiliki kerapatan atau densitas yang tinggi. Densitas yang tinggi menyebabkan jarak antar atom sangat kecil sehingga transfer kalor akan lebih mudah terjadi [6]. Transfer kalor yang lebih mudah terjadi inilah yang akhirnya akan menyebabkan kecepatan pendinginan yang mendekati nilai maksimum. Air banyak digunakan sebagai media pendingin karena harganya yang murah, sumbernya yang melimpah dan mudah didapatkan, dan memberikan efek polusi yang minim.

Nanofluida diharapkan dapat memiliki kemampuan perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan medium pendingin air. Kelebihan perpindahan panas tersebut didapatkan dari luas permukaan karbon sebagai media perpindahan panas sangat besar dalam keadaan ukuran nano, keuntungan lainnya adalah dalam pengaturan *quench severity* yang lebih presisi sesuai dengan kebutuhan jumlah perpindahan panas yang diinginkan [2]. Hal ini tentu sangat menguntungkan apabila nanofluida diaplikasikan sebagai media quench pada baja, salah satunya pada baja JIS S45C. Karbon memiliki nilai konduktivitas termal sebesar 1,7 W/mK. Karbon sebagai solid nanopartikel merupakan sumber yang sangat mudah didapat, dapat digunakan kembali dalam proses *quenching*, sifat inert yang baik, dan limbahnya yang tidak beracun.

Studi pembuatan nanofluida sebagai media *quench* pada baja JIS S45C ditunjukkan untuk membandingkan hasil kekerasan dan pola fasa yang terbentuk dari nanofluida dengan 5 variasi komposisi karbon dan air.

MATERIAL DAN METODE

Material

Spesimen

Baja JIS S45C berbentuk batang silinder berdimensi (panjang x diameter) 15 x 10 mm didapat dari toko besi setempat. Baja tersebut dipotong membujur menjadi 4 bagian, lalu digunakan 5 sampel untuk selanjutnya diberikan perlakuan pendinginan cepat menggunakan medium pendingin dengan komposisi karbon yang berbeda-beda. Kandungan unsur pada baja tertera pada TABEL 1. JIS S45C dipilih sebagai sampel karena merupakan jenis baja karbon sedang sehingga sampel sensitif terhadap perlakuan pengerasan melalui pendinginan cepat dan pembentukan fasa martensit mudah diamati.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon JIS S45C.

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
98,3	0,47	0,287	0,718	0,0261	0,005	0,028	0,005
Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
0,005	0,02	0,003	0,018	<0,002	0,035	<0,002	<0,01
Pb	Sn	B	Ca	Zr	As	Bi	
0,025	<0,002	0,0013	0,0005	<0,002	0,008	<0,03	

Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan pada pengujian ini adalah nanofluida karbon berbasis air deionisasi dengan komposisi karbon 0,06, 0,08, 0,10, 0,12, dan 0,14 wt%. Karbon yang digunakan berukuran rata-rata 15,04 μm dari proses *high energy ball mill* selama 15 jam pada kecepatan putaran 500 rpm. Media air biasa juga digunakan untuk membandingkan nilai kekerasan dan mikrostruktur baja yang di-*quench* dengan air tanpa komposisi karbon dengan baja yang di-*quench* dengan nanofluida karbon berbasis air.

Metode

Material dan proses kimia-mekanik

Potongan baja silinder tersebut dipanaskan mencapai suhu 1000°C di dalam *furnace* dan didiamkan selama 60 menit. Kemudian, tiap sampel didinginkan dengan pendinginan cepat menggunakan 5 media nanofluida berbasis air dengan konsentrasi karbon yang berbeda. *Quenching* dilakukan untuk mendapatkan fasa martensit pada mikrostrukturnya.

Nanofluida dibuat dari karbon sebagai nanopartikel dan air sebagai media basisnya. Metode *two-step* digunakan dalam pembuatan nanofluida karena lebih ekonomis dan simpel dibandingkan metode *single-step* [3]. Karbon dari dengan ukuran awal rata-rata 5 cm dikecilkan dengan metode kominusi. Selanjutnya, karbon dihaluskan sampai ukuran rata-rata 15,03767 μm dari proses *high energy ball mill* selama 15 jam pada kecepatan putaran 500 rpm. Air yang digunakan adalah air deionisasi. Partikel karbon dan air deionisasi dicampur dan diaduk menggunakan *ultrasonic steering* selama 280 detik dengan besar fraksi karbon untuk tiap sampel tertera pada Tabel 2. Tahap selanjutnya, baja yang telah di quench dipersiapkan untuk proses metalografi dan pengujian kekerasan.

Tabel 2. Persentase fraksi karbon dalam pelarut air deionisasi.

Komposisi (wt%)	Massa Karbon (gr)	Volume Air (ml)
0.06	0.06	100
0.08	0.08	
0.10	0.10	
0.12	0.12	
0.14	0.14	

Uji keras

Untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap nilai kekerasan maka dilakukan uji keras dengan metode Vickers. Pada metode ini digunakan indentor berupa intan yang berbentuk piramida dengan sudut 136°. Metode uji ini digunakan karena kemampuannya mengukur kekerasan hingga skala mikro dengan pembebanan sangat rendah yaitu 1-1000 gram. Besar pembebanan adalah 200 gf dan waktu tahan 10 detik. Penampang jejak yang terbentuk berupa bidang berbentuk layang-layang dengan diagonal yang berbeda. Hasil pengujian keras beserta grafik tertera pada Tabel 3 dan Gambar 2.

Karakterisasi mikrostruktur

Sampel dipersiapkan dengan prosedur standar metalografi. Struktur kristal pada baja agar dapat diamati diberikan etsa nital dengan kandungan 2% asam nitrat dan 98% alkohol terdenaturasi dengan waktu tunggu 3 detik. Karakterisasi mikrostruktur dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah *quench* dilakukan untuk melihat seberapa banyak fasa martensit JIS S45C. Karakterisasi dilakukan menggunakan *optical microscope* Zeiss Primostar dengan perbesaran 100x beserta aplikasi *capturing image* Zeiss Labscope v2.5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Keras

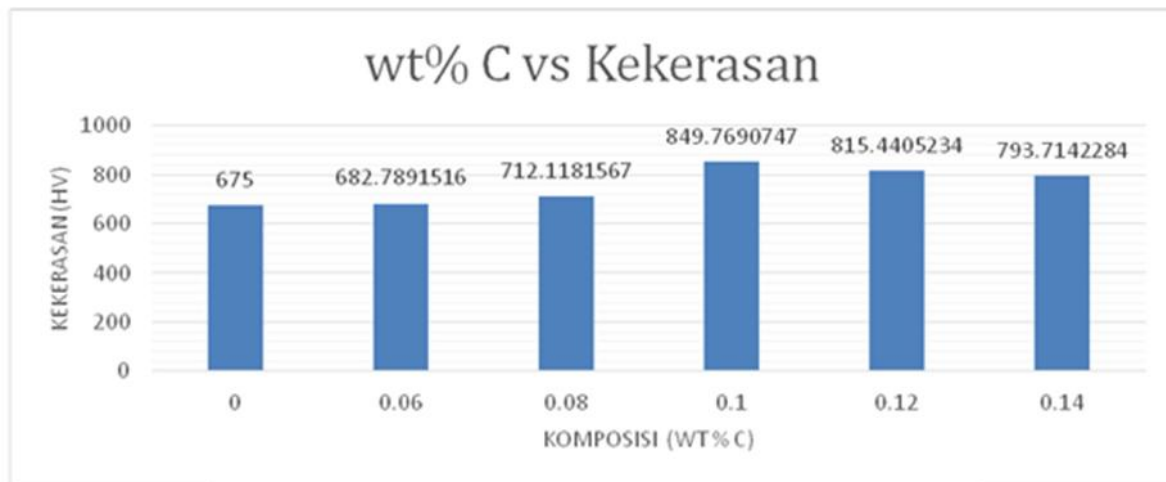
Uji Kekerasan Mikro-Vickers

Tingkat kekerasan pada spesimen yang dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air, sebesar 675 HV, merupakan yang paling rendah dibandingkan spesimen yang didinginkan secara cepat pada media pendingin berupa nanofluida karbon. Bertambahnya komposisi karbon pada media pendingin dari 0,12 sampai 0,14 wt% menunjukkan terjadinya penurunan nilai kekerasan, sementara pada komposisi dari 0 sampai 0,08 wt% terdapat kenaikan kekerasan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai optimal dimiliki oleh spesimen media nanofluida dengan persentase karbon sebesar 0,1 wt% C. Persebaran partikel menentukan efektivitas proses transfer panas, hal ini dibuktikan dari peningkatan jumlah partikel karbon yang tidak sebanding dengan peningkatan kekerasan baja.

Tabel 3. Hasil uji keras mikro-Vickers.

KONDISI	KEKERASAN (HV)
SEBELUM QUENCHING	211,78
SETELAH QUENCHING AIR	675,00
Komposisi (%C)	
NANOFLUIDA KARBON	682,79
	712,12
	849,77
	815,44
	793,71

Serbuk karbon yang bersifat hidrofobik dan luas permukaan yang tinggi mendorong kemungkinan terjadinya aglomerasi antarpartikel. Semakin banyak partikel yang terdapat dalam fluida, semakin besar kemungkinan partikel saling bertabrakan satu sama lain dan beraglomerasi. Fenomena aglomerasi dapat menurunkan efektivitas proses *quenching* karena luas permukaan transfer panas ke partikel menjadi lebih sedikit

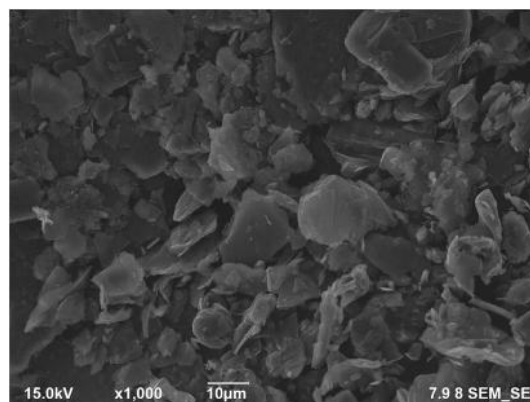


Gambar 1. Grafik komposisi karbon pada media pendingin vs nilai kekerasan.

Hasil Karakterisasi

Ukuran dan Komposisi Kimia Serbuk Karbon

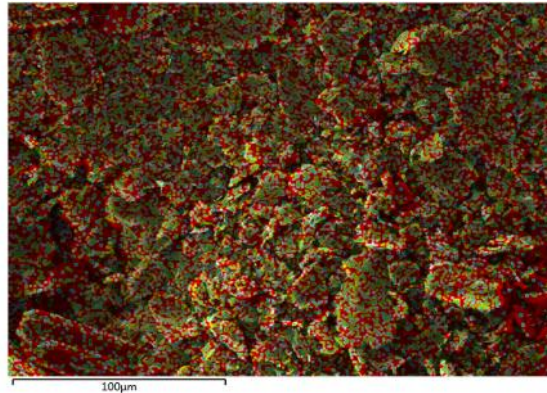
Ukuran dan bentuk partikel karbon hasil *high energy ball mill* diukur dengan metode *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FE-SEM). Pada pengukuran dari metode pencitraan FE-SEM, didapatkan rata-rata ukuran serbuk 15,03767 μm (gambar 2). Komposisi serbuk karbon dideteksi dengan metode *Electron Diffraction X-ray Spectroscopy* (EDS). Gambar 3 menunjukkan filter citra EDS dari serbuk karbon, sementara itu hasil kuantitatif komposisi kimia tercantum pada TABEL 4. Serbuk karbon mengandung 99,9 wt% C dan 0,1 wt% Cu.



Gambar 2. Citra FE-SEM partikel karbon dengan perbesaran 1000x.

Tabel 4. Komposisi kimia (wt%) serbuk karbon

Serbuk karbon	C	Cu
	99.9	0.1

**Gambar 3.** Citra partikel karbon dengan warna filter dari EDS.

Mikrostruktur sebelum quenching

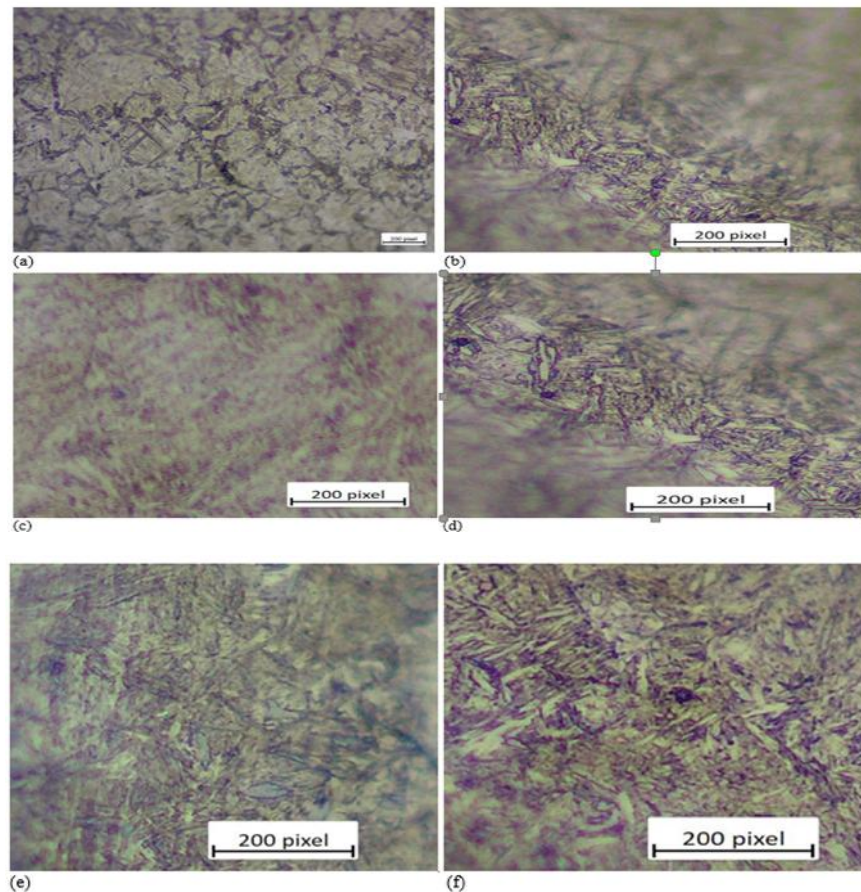
Fasa yang tersusun dalam struktur baja JIS S45C sebelum *quenching* kebanyakan adalah ferit dan perlit (Gambar 4). Fasa ferit ditunjukkan dengan daerah yang terang atau berwarna putih, sementara perlit ditunjukkan dengan daerah yang lebih gelap atau warna coklat pada citra mikrostruktur.

**Gambar 4.** Mikrostruktur JIS S45C sebelum quenching.

8 November 2017

Mikrostruktur Hasil Quenching

Fasa martensit sebagai penentu sifat keras baja JIS S45C ditunjukkan dengan pola berbentuk jarum dalam struktur. Kandungan fasa martensit dengan media *quench* air dan nanofluida menunjukkan perbedaan berupa kandungan martensit yang lebih jarang terlihat dibandingkan pada nanofluida dengan segala variasi. Pola fasa martensit pada nanofluida terbentuk banyak dan mendominasi struktur.



Gambar 5. Mikrostruktur hasil perbesaran 100x spesimen hasil quench dengan media air dengan fraksi berat karbon (a) air, nanofluida dengan komposisi karbon (b) 0,06%, (c) 0,08%, (d) 0,1%, (e) 0,12%, (f) 0,14%.

8 November 2017

KESIMPULAN

Spesimen baja karbon sedang JIS S45C dibandingkan kekerasan dan pola mikrostrukturnya sebelum dan setelah dilakukan *quench* dengan nanofluida berbasis air. Nanofluida dengan variasi konsentrasi karbon 0,06%, 0,08%, 0,10%, 0,12%, dan 0,14% terhadap volume 100 ml air dibuat dengan metode *two step*. Perbandingan mikrostruktur sebelum dan sesudah quenching dengan segala variasi menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi fasa yang semula didominasi ferit dan perlit menjadi martensit. Nanofluida 0,10 wt% C memberikan hasil terbaik dalam uji kekerasan, yaitu 849,77 HV. Pola tingkat kekerasan dari hasil *quench* air, nanofluida dengan konsentrasi karbon 0,06%, 0,08%, sampai 0,10% menunjukkan kenaikan, sementara itu dari nanofluida dengan komposisi karbon 0,12% dan 0,14% menunjukkan penurunan tingkat kekerasan. Semakin banyak karbon yang terdapat dalam fluida, semakin besar kemungkinan aglomerasi antarpartikel karbon terjadi. Penurunan tingkat kekerasan pada konsentrasi karbon yang lebih banyak disebabkan oleh fenomena aglomerasi yang menurunkan luas permukaan transfer panas pada proses *quenching*.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penyusun mengapresiasi bantuan Badan Tenaga Nuklir Nasional atas bantuan alat penghalus partikel serta alat karakterisasi SEM. Terima kasih kepada penanggung jawab Laboratorium Advanced Materials dan Laboratorium Metallography and Heat Surface Treatment, Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia atas izin penggunaan alat-alat terkait preparasi sampel.

REFERENSI

- J. Grum, S. Bozic, and M. Zupancic, Influence of Quenching Process Parameters on Residual Stresses in Steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 2001, 114(1), p 57–70
- Dhinesh K D and Valan A A. 2016. *A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids*. (India: Elsevier) 21-40.
- Khoshmehr, Habibi, Ahmad Saboonchi and Mohammad Behshad Shafii, "The quenching of silver rod in boiling carbon nano tube-water nanofluid", (*International Journal of Thermal Sciences*, 2014) pp 95-104
- L.R. Cupertino Malheiros, E.A. Pachon Rodriguez and A. Arlazarov, "Mechanical behavior of tempered martensite: Characterization and modeling," *Materials Science & Engineering A*, vol. 706, pp. 38-47, 2017.

8 November 2017

Aplikasi Metoda Polarisasi Untuk Pengukuran Ketahanan Korosi Baja Lapis Listrik Nanokristal Nikel

Rini Riastuti^{1, A)}, Sonia Taruli Siallagan^{1, B)}, Achmad Rifki^{1, C)}, Falah Herdino^{1, D)}, & Cika
Ramadini^{1, E)}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia

^{a)}riastuti@metal.ui.ac.id ^{b)}soniasiallagan@gmail.com ^{c)}ahmadrifki123@yahoo.com

^{d)}falahherdino@yahoo.com ^{e)}cika.ramadini@gmail.com

ABSTRACT

The addition of saccharin to nickel electroplating process as an additive is useful for refining the grain size of nickel deposit on the substrate. The addition of saccharin will produce nanocrystalline nickel layer. The reduction of crystallite size will be affected to mechanical properties and corrosion resistance of substrate. In previous studies, it is known that the addition of saccharin will decreasing the crystallite size as well as increasing the hardness. In this study will be focus about the behavior of corrosion with the addition of saccharin as an additive in the process of electroplating nickel on SPCC. The electroplating of nickel process is carried out at the acidity level of 5 for 20 minutes by keeping the operating temperature stable at 50°C. The current density used at 6 A / cm². Within the addition of saccharin will cause changes in grain size of 165 to 35 nm. The decrease of grain size will increasing corrosion resistance in SPCC. The highest corrosion resistance is found in Ni-plating with the addition of saccharin as much as 10 g / L with corrosion rate of 3.25 μA cm⁻² and resistance polarization (Rp) of 5.74 kΩ cm⁻². While the non-plating steel has the highest corrosion rate of 11 μA cm⁻² with the lower polarization resistance of 1.15 kΩ cm⁻².

Keyword: Linear Polarization, Electroplating, Nickel, Saccharin, Nanocrystalline.

PENDAHULUAN

Korosi merupakan salah satu fenomena yang terjadi pada logam atau paduannya setelah bereaksi dengan lingkungan sehingga menyebabkan penurunan mutu pada logam tersebut[1]. Telah banyak metode yang dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi pada suatu material, salah satunya ialah dengan melakukan pelapisan.

8 November 2017

Pelapisan merupakan suatu proses yang bertujuan untuk meningkatkan waktu pakai dari suatu produk yang juga memiliki fungsi dekoratif. Dengan adanya lapisan tersebut, produk diharapkan mampu memberikan penampilan yang lebih menarik. Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan korosi dengan metode pelapisan ialah lapis listrik nikel. Lapis listrik nikel merupakan proses mendepositkan logam nikel murni ke permukaan material secara kimiawi dengan bantuan arus listrik searah[2]. Prinsip dasar pada lapis listrik nikel ini memanfaatkan metode elektrolisa. Dimana pada larutan elektrolit dicelupkan dua elektroda yang terhubung dengan arus listrik yang kemudian bertindak sebagai anoda dan katoda, pengaliran arus listrik tersebut menyebabkan elektron dapat bermigrasi melalui anoda menuju katoda [3-4]. Pada proses lapis listrik, beberapa parameter dapat mempengaruhi hasil lapisan yang terbentuk pada substrat antara lain rapat arus yang digunakan serta penambahan aditif pada larutan elektrolit[5]. Penambahan zat aditif pada larutan elektrolit seperti sakarin, mampu meningkatkan kecerahan pada hasil deposit selain itu sakarin juga akan berperan sebagai penghambat pertumbuhan yang akan menghasilkan butir berukuran kecil dan halus[6]. Sifat mekanik, listrik, dan magnet dari hasil deposit akan dipengaruhi oleh ukuran butir deposit, telah ditemukan bahwa pengecilan ukuran partikel adalah cara untuk mencapai karakteristik yang diinginkan di atas, dimana perubahan ukuran butir menjadi lebih halus akan menghasilkan material nanokristalin[7]. Nanokristalin (NC) material merupakan bahan yang penting pada aplikasi industri karena sifatnya yang unik terutama pada sifat mekanik dan kimia.

MATERIAL DAN METODE

Material

Pada penelitian ini digunakan strip *Steel Plate Cold Rolled Coiled* (SPCC) berukuran 35 mm x 10 mm x 1.6 mm sebagai katoda dan karbon sebagai anoda. Adapun komposisi kimia material SPCC dilakukan melalui pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES) dengan hasil pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Material SPCC

Material	Composition			
	C (max)	Mn (max)	P (max)	S (Max)
SPCC	0.0482	0.182	0.0110	0.0079

8 November 2017

Metode

Preparasi strip SPCC dilakukan secara mekanik dan kimia. Preparasi mekanik akan dilakukan dengan cara pengamplasan strip SPCC dengan menggunakan kertas amplas grid 60, 120, 180. Setelah preparasi mekanik, akan dilanjutkan dengan preparasi kimia. Pada preparasi kimia ini dilakukan dua tahapan yaitu *degreasing* dan *pickling*. *Degreasing* merupakan pembersihan secara kimia yang memiliki tujuan untuk menghilangkan lemak, minyak serta pengotor yang mungkin menempel pada permukaan substrat. Proses *degreasing* dilakukan dengan mencelupkan substrat pada larutan 10wt% NaOH pada suhu 70°C selama 15 menit. Setelah dilakukan *degreasing*, substrat kemudian akan di *pickling*. *Pickling* merupakan proses pencelupan setelah *degreasing* yang berfungsi untuk menghilangkan korosi pada permukaan spesimen. Proses ini dilakukan dengan mencelupkan substrat pada larutan 30wt% HCl pada suhu ruang selama 20 menit. Pendepositan nikel dilakukan dengan cara elektrodeposisi yang dimana akan dialirkan arus searah (DC) pada elektroda yang tercelup pada larutan *nickel watt*. Adapun komposisi larutan tersebut ialah nikel sulfat (sekitar 300 g / L), nikel klorida (sekitar 30 g / L) dan asam borat (sekitar 30 g / L). Elektrodeposisi dilakukan pada suhu 50°C dengan tingkat keasaman larutan 5 selama 20 menit. Adapun rapat arus yang digunakan sebesar 6 A / dm², dimana nilai tersebut diperoleh berdasarkan uji *hull cell*. Pada penelitian ini akan dilihat perilaku korosi baja SPCC dalam tiga kondisi yaitu a) tanpa lapis listrik, b) lapis listrik Ni dan c) lapis listrik Ni + aditif.

Untuk mengetahui perubahan ukuran butir hasil lapis listrik tanpa penambahan zat aditif dan dengan penambahan zat aditif maka dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Sementara pengujian polarisasi, sampel akan di *mounting* menggunakan epoksi dimana luas area yang terpapar elektrolit sebesar 1 cm² sementara pada bagian sebaliknya diberikan sambungan listrik dengan kabel tembaga. Pengukuran elektrokimia dilakukan dengan menggunakan tiga sel elektroda, SPCC digunakan sebagai *working electrode*, plat platinum sebagai *counter electrode* dan *Silver-Silver Chloride* (SSC) sebagai *reference electrode*.

Pengukuran elektrokimia akan dianalisis dengan menggunakan sistem AUTOLAB potentiostat / galvanostat dan pengukuran diulang sedikitnya tiga kali pada setiap sampelnya.

8 November 2017

Sebelum semua pengukuran, sampel direndam ke dalam elektrolit selama 120 detik untuk menstabilkan potensial sirkuit terbuka (*Open Circuit Potential* / OCP).

Metode *Linear Polarization* digunakan untuk menentukan nilai potensial korosi (E_{corr}) dan kerapatan arus korosi (i_{corr}). Resistansi polarisasi linier ditentukan dengan melakukan pengaturan pada *Linear Sweep Voltammetry* (LSV) yaitu laju pemindaian sebesar 10 mV / s. Arah pemindaian ditentukan oleh potensial start pada -0,2 V dan potensial berhenti pada 1,0 V. Larutan aqueous yang mengandung NaCl 3wt% digunakan sebagai elektrolit pada sel elektrokimia dan pH ialah 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi

Berdasarkan penelitian pada *Effect of Saccharin as Additive in Nickel Electroplating on SPCC Steel (Unpublish)*¹³ penambahan aditif berupa sakarin mampu memperhalus ukuran butir, hal ini dibuktikan dengan pengujian karakterisasi lapisan berupa pengujian XRD. Berikut ini merupakan data pengaruh penambahan sakarin terhadap ukuran butir. Ukuran butir ini didapatkan berdasarkan perhitungan menggunakan *Scherrer Equation* (persamaan 1).

$$L = K \cdot \lambda / B \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Tabel 2. Pengaruh penambahan sakarin terhadap ukuran butir

No	Sampel	Sakarin (g/L)	Ukuran butir (nm)
1	Plated Ni	0	160
2	Plated Ni + Aditif	10	35

Adapun faktor yang menyebabkan sakarin mampu menurunkan ukuran butir ialah kandungan nitrogen dan sulfur. Kedua unsur tersebut mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi, dimana ketika konsentrasi adsorbat meningkat maka jumlah substansi yang terkumpul pada permukaan semakin banyak pula. Sakarin yang teradsorpsi pada permukaan adsorben akan menjadi penghalang dari jalannya difusi pada permukaan aktif pertumbuhan butir. Ketika adsorpsi berjalan sempurna, maka pertumbuhan itu akan terhalang, maka frekuensi nuklei akan meningkat yang tidak diiringi dengan pertumbuhan, sehingga menghasilkan butir yang lebih halus[12].

8 November 2017

Penelitian lainnya juga telah melakukan pengamatan terhadap pengecilan ukuran butir pada proses lapis listrik nikel dengan penggunaan sakarin sebanyak 5 g/L dengan peningkatann rapat arus dari 10 hingga 75 mA/cm² yang akan menghasilkan butir Ni dari 182 nm menjadi 24 nm[5].

Pengukuran Polarisasi

Semua sampel dalam percobaan ini menunjukkan perilaku pasif aktif dalam larutan NaCl pada gambar 1. Potensi korosi dan arus korosi yang terperinci dari sampel yang diperoleh dari kurva polarisasi elektrokimia dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 3. Data polarisasi lapis listrik nikel dan tanpa lapis listrik pada 3wt% NaCl

Sample	β_a (mV/dec)	β_c (mV/dec)	E_{corr} (mV)	i_{corr} ($\mu\text{A cm}^{-2}$)	R_p ($\text{k}\Omega \text{ cm}^{-2}$)	E_{pass} (mV)	i_{pass} (mA cm^{-2})
a. Tanpa lapis listrik	53.6	62.8	-775	11	1.15	-349	6.16
b. Lapis listrik nikel	128	96	-614	8.43	2.83	-343	4.87
c. LapisListrik nikel + aditif	147	60.7	-658	3.25	5.74	-186	5.54

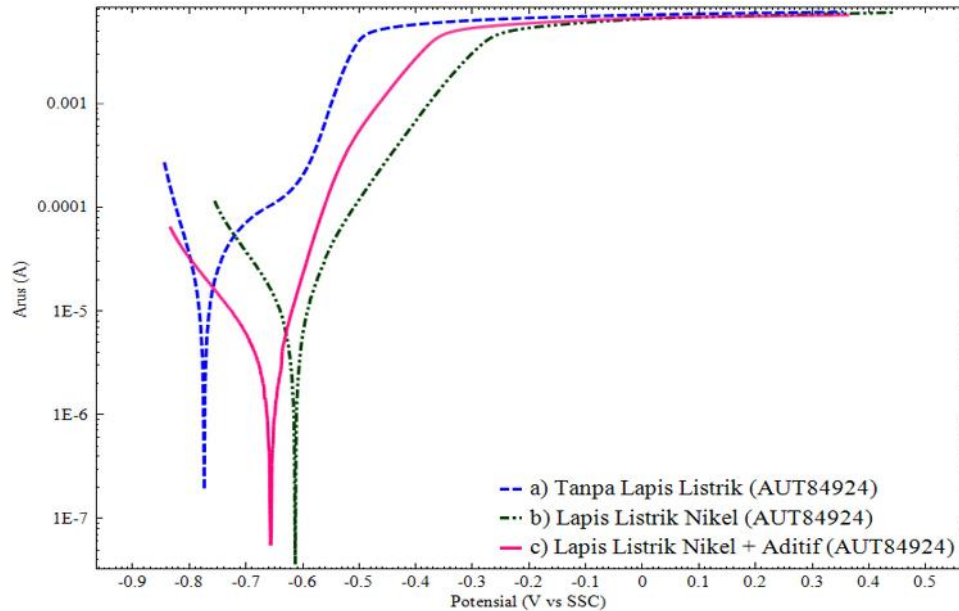
Pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa baja dengan lapisan Ni memiliki i_{corr} yang lebih rendah daripada baja tanpa lapis listrik nikel. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya lapisan nikel pada baja SPCC secara umum akan menurunkan laju korosi dengan adanya penambahan aditif maupun tanpa penambahan aditif.

Perilaku SPCC hasil lapis listrik dan tanpa lapis listrik nikel

Pada hasil proses plating, dapat dilihat pada Table 3 (a dan b), potensial korosi (E_{corr}) menjadi lebih positif dari -775 menjadi -614 mV vs SSC seiring penurunan rapat arus dari 11 menjadi 8.43 $\mu\text{A cm}^{-2}$. Penurunan laju korosi ini diakibatkan oleh adanya lapisan nikel pada permukaan SPCC yang merupakan hasil lapis listrik nikel yang berasal dari larutan elektrolit. Dengan adanya lapisan Ni pada permukaan, lapisan tersebut akan melindungi substrat dengan menutupi permukaan substrat dari larutan dan bukan bertindak seperti lapisan penghalang yang akan mengorbankan lapisan tersebut[11]. Hal inilah yang mengindikasikan penurunan laju ketahanan korosi pada substrat hasil lapis listrik nikel. Ketahanan pasivasi pada baja dengan adanya lapisan nikel juga lebih tinggi dibandingkan dengan baja yang tidak dilakukan pelapisan listrik.

8 November 2017

Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1, dimana potensial korosi dimulai dari -0.252 hingga 0.443 mV.



Gambar 1. Kurva polarisasi baja hasil lapis listrik nikel dan tanpa lapis listrik nikel pada larutan 3% NaCl

Pengaruh penambahan aditif pada lapis listrik nikel nikel

Berdasarkan Gambar 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan rapat arus korosi (i_{corr}) setelah penggunaan sakarin dari 8.43 menjadi 3.25 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ dengan penurunan potensial korosi. Penurunan rapat arus korosi ini di indikasikan karena adanya bahan aditif berupa sakarin. Penggunaan sakarin sebagai bahan aditif pada lapis listrik akan menghaluskan struktur butir yang menghasilkan lapisan nikel nanokristalin [8]. Penurunan ukuran butir tersebut terjadi dikarenakan selama proses pelapisan terjadi transisi orientasi sehingga pertumbuhan bidang menjadi acak, hal tersebut disebabkan oleh adanya perubahan energi pada permukaan [9]. Pada hasil lapis nikel nanokristal memiliki densitas batas butir yang lebih besar yang menyebabkan lapisan pasif menjadi lebih mudah terbentuk sehingga terjadi peningkatan pada ketahanan korosi. [8]. Dapat diamati pula pada potensial diantara -0.2 hingga 0.1 V vs SSC, baja hasil lapis listrik dengan penambahan sakarin memiliki rapat arus pasivitas yang lebih besar dibandingkan lapis listrik nikel tanpa penambahan sakarin.

8 November 2017

Pada larutan NaCl, potensial korosi (E_{corr}) pada lapisan nikel akan menurun seiring meningkatnya ketahanan korosi yang dapat diamati pada Gambar 2, bagian b dan c. Penurunan potensial tersebut diindikasikan karena adanya pengaruh keberadaan katalis pada proses reduksi hidrogen berupa cacat pada kisi kristal di permukaan baja. Hal ini telah diamati bahwa dengan keberadaan hidrogen yang terperangkap pada dislokasi, batas butir, dan kekosongan atau pori mampu merubah kinetika dari evolusi hidrogen[8]. Selain itu, penurunan potensial tersebut juga diindikasikan karena konversi nikel oksida menjadi valensi yang lebih tinggi tidak berlangsung hingga reaksi evolusi oksigen dan juga pada nilai pH berkisar antara 7 atau lebih rendah konversi nikel oksida menjadi valensi yang lebih tinggi juga tidak dapat terjadi[11].

Selain mengamati arus serta potensial korosi, dapat diamati pula tahanan polarisasi (R_p) untuk mengetahui tingkat korosivitas baja melalui metoda polarisasi. Tahanan polarisasi (R_p) merupakan ketahanan baja terhadap oksidasi ketika diberikan arus. Pada hasil pengukuran, tahanan polarisasi baja meningkat dengan adanya lapis listrik nikel. Semakin besar nilai tahanan polarisasi, maka baja akan tahan terhadap proses oksidasi sehingga laju korosi akan cenderung lebih rendah. Tahanan polarisasi pada baja lapis listrik nikel dengan tambahan bahan aditif yaitu sakarin memiliki tahanan tertinggi yaitu $5.74 \text{ k}\Omega \text{ cm}^{-2}$ sementara ketahanan polarisasi yang terendah dimiliki oleh baja tanpa lapis listrik nikel yaitu sebesar $1.15 \text{ k}\Omega \text{ cm}^{-2}$. Sehingga dapat diketahui baja lapis listrik nikel dengan tambahan aditif memiliki ketahanan korosi yang lebih baik.

KESIMPULAN

Pelapisan dengan metode lapis listrik nikel mampu meningkatkan ketahanan korosi pada baja SPCC. Lapisan nikel pada baja SPCC mampu meningkatkan ketahanan korosi dengan penurunan laju korosi dari $11 \mu\text{A cm}^{-2}$ pada baja SPCC pelapisan menjadi $8.43 \mu\text{A cm}^{-2}$ dengan adanya lapisan nikel hasil lapis listrik nikel. Penambahan aditif berupa sakarin pada proses lapis listrik nikel akan menghasilkan lapisan yang memiliki densitas batas butir yang tinggi sehingga memudahkan pembentukan lapisan pasif. Sehingga penambahan sakarin pada proses lapis listrik nikel akan meningkatkan ketahanan korosi dari 8.43 menjadi $3.25 \mu\text{A/cm}^2$.

8 November 2017

Pada baja SPCC hasil lapis listrik nikel dengan penambahan sakarin sebagai aditif memiliki tahanan polarisasi tertinggi yang menandakan bahwa penambahan aditif berupa sakarin mampu meningkatkan ketahanan korosi.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT Utama Raya Motor Industri dan PITTA UI atas dukungan fasilitas dan finansial yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

REFERENSI

1. D. Jones, *Principles and prevention of corrosion*, 2nd ed. New York: Macmillan Publ. Co., (1992).
2. M. Schlesinger and M. Paunovic, *Modern electroplating*, 5th ed. Hoboken, N.J.: Wiley, pp. 79–114, (2010).
3. F. Lowenheim, *Modern Electroplating 3rd Edition*, 3rd Editio. New York: John Wiley & Sons Inc, (1985).
4. A. Sanders, *Electroplating*. New York: International Text Book Co, (1950).
5. A. M. Rashidi and A. Amadeh, "Effect of electroplating parameters on microstructure of nanocrystalline nickel coatings," *J. Mater. Sci. Technol. Iran*, vol. 26, no. 1, pp. 82–86, (2010).
6. N. P. Wasekar, P. Haridoss, S. K. Seshadri, dan G. Sundararajan, "Influence of mode of electrodeposition, current density and saccharin on the microstructure and hardness of electrodeposited nanocrystalline nickel coatings," *Surf. Coatings Technol. India*, vol. 291, pp. 130–140, (2016).
7. S. Mohan, S. Shiram, dan S. Karthikeyan, "Electrodeposition of Nanocrystalline Nickel," *Cent. Electrochem. Res. Institute, India*, vol. 18, no. 6, pp. 241–246, (2002).
8. L. Qin, J. Lian and Q. Jiang, "Effect of Grain Size on Corrosion Behavior of Electrodeposited Bulk Nanocrystalline Ni", *Transactions of Nonferrous Metals Society Of China*, vol. 20, no. 1, pp. 82-89, (2010).

8 November 2017

9. K. Kishimoto, S. Yoshioka, K. Kobayakawa and Y. Sato, "Effects of Various Additives on the Characteristics of Electroplated Nickel Thin Films", *Journal of The Surface Finishing Society of Japan*, vol. 54, no. 10, pp. 710-713, (2003).
10. S. Wang. "Electrochemical Properties of Nanocrystalline Nickel and Nickel –Molybdenum Alloys". Thesis. Queen's University. 1997
11. H. Ashassi-Sorkhabi and S. Rafizadeh, "Effect of coating time and heat treatment on structures and corrosion characteristics of electroless Ni–P alloy deposits", *Surface and Coatings Technology*, vol. 176, no. 3, pp. 318-326, 2004.
12. A. Rifki, "Pengaruh Penambahan Sakarin terhadap Besar Ukuran Butir Hasil Lapis Listrik Nikel pada Baja Karbon SPCC" Thesis, Universitas Indonesia, 2017.
13. R. Riastuti, A. Rifki, F. Herdino, C. Ramadini, S. Siallagan, "*Effect of Saccharin as Additive in Nickel Electroplating on SPCC Steel*" (Unpublish)

**Pengaruh Lignin *Softwood* Sebagai Bahan Pengganti Resin Terhadap Kemampuan
Proses Dan Sifat Mekanik Vulkanisat Tapak Ban**

Daniel Aditya Putra^{1,A)}, Mardiyati^{1, B)}, & Devi Herlianty^{2, C}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB

²Departemen RnD, PT Multistrada Arah Sarana, Tbk, Cikarang Timur.

a) danieladitya777@gmail.com b) mardiyati@material.itb.ac.id

c) devi.herlianty.s@multistrada.co.id

ABSTRACT

This study investigated the use of softwood lignin as replacement for resin in tread compound for Public Car Radial (PCR) tire. In this research, 5 phr of natural and synthetic resin were replaced with 5 phr of softwood lignin. The tread samples were prepared by mixing and vulcanization process. The mixing process was conducted by using Banbury mixer at temperature of 115 °C. The compounds were characterized using Rheometer to determine the processing behavior, i.e. viscosity, scorch time, and cure time. Mechanical properties of the vulcanizate were measured by using tensile test according to ISO 37-2005 and hardness test according to ASTM D 2240-15 to determine hardness, modulus 300, tensile break, and elongation break of the vulcanizates. The properties of compound with lignin were compared with compound without lignin as control. As compared to compound without lignin, it was found that compound containing lignin had better scorch time from 16.5 minutes to 17.8 minutes. The tensile test result also showed higher modulus 300 of 17.1% as compared to control sample.

Keyword: softwood lignin, resin, tread compound, processing behavior, tensile

PENDAHULUAN

Lignin merupakan polimer alam yang memiliki struktur 3 dimensi yang kompleks. Lignin dapat ditemukan pada tumbuh-tumbuhan, dimana lignin berperan sebagai pengikat yang mengikat selulosa serta hemiselulosa.

8 November 2017

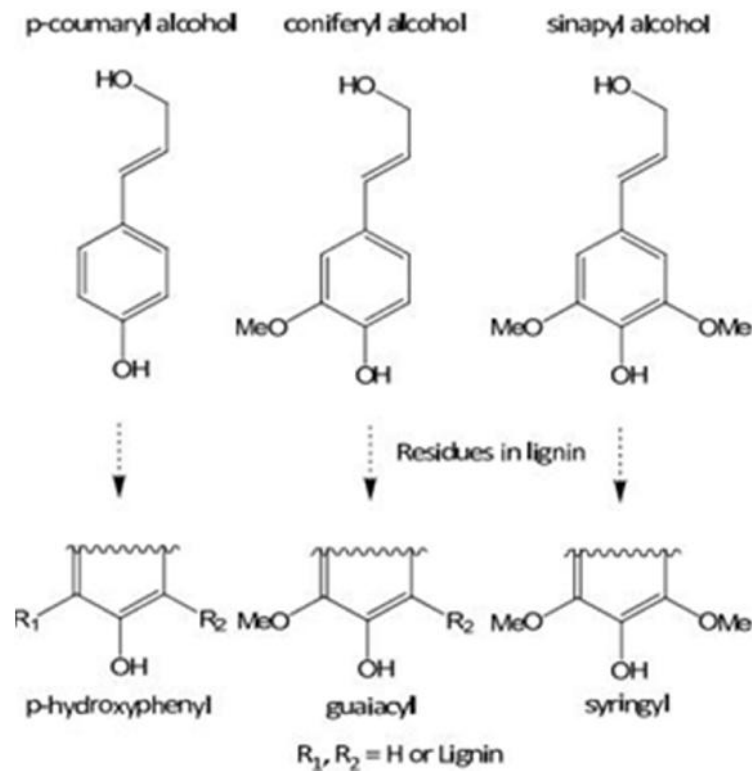
Lignin memiliki gugus alifatik dan aromatik yang tersusun dari 3 jenis prekursor, yaitu *p-coumaryl*, *coniferyl*, dan *sinapyl alcohol* (Gambar 1). Pada tumbuhan, lignin menyusun sekitar 15-40% bagian dari tumbuhan dan merupakan polimer alam terbanyak kedua setelah selulosa[1].

Lignin umumnya dapat diperoleh baik dari proses ekstraksi langsung dari kayu maupun dari proses isolasi dari limbah industri kertas. Pada industri kertas, lignin dihasilkan sebagai limbah yang kemudian dibakar untuk menghasilkan energi. Dalam setahun, total produksi dari lignin di dunia mencapai hingga $5-36 \times 10^8$ ton, dimana sebagian besar berupa limbah industri kertas[2]. Lignin saat ini masih belum banyak dimanfaatkan oleh industri, dikarenakan struktur dari lignin yang kompleks serta masih sedikitnya penelitian yang berhubungan dengan pemanfaatan lignin. Walau demikian, lignin saat ini mulai mendapat banyak perhatian dikarenakan munculnya isu lingkungan serta adanya potensi lignin untuk digunakan sebagai material dengan nilai tambah. Faktanya, lignin memiliki potensi sebagai salah satu sumber senyawa aromatik yang penting pada industri kimia, dikarenakan jumlahnya yang melimpah di alam. Selain itu beberapa keunggulan dari lignin yaitu dapat diperbarui, memiliki berat molekul rata-rata rendah, ramah lingkungan, memiliki sifat antioksidan, dan memiliki kemampuan sebagai penguat[4]. Beberapa sifat tersebut menjadikan lignin sebagai kandidat material yang menjanjikan untuk digunakan sebagai aditif pada polimer komposit. Beberapa contoh aplikasi dari lignin yaitu sebagai bahan pengemulsi, pengikat, penguat pada polimer, bioplastik, serat karbon, *coating*, dan lain-lain[5]. Pada penelitian ini, lignin diaplikasikan sebagai aditif pengganti resin pada komponen tapak untuk ban PCR

Pada ban, *tread* atau tapak merupakan bagian terluar ban yang bersentuhan langsung dengan jalan. Material yang digunakan pada pembuatan *compound* tapak yaitu karet, bahan pengisi, bahan vulkanisasi, bahan penstabil, serta bahan aditif lain. Resin pada *compound* masuk dalam kategori bahan aditif lain, dimana resin berfungsi untuk meningkatkan dispersi serta kompatibilitas dari bahan pengisi dan polimer karet. Dispersi yang baik merupakan parameter penting yang menentukan sifat *compound* baik ketika pemrosesan serta sifat akhir setelah vulkanisasi.

Resin memiliki dua sisi yang kompatibel dengan gugus alifatik serta aromatik sehingga dapat dihasilkan campuran *compound* yang homogen. Lignin memiliki gugus alifatik serta aromatik, sehingga dapat digunakan sebagai resin.

8 November 2017



Gambar 1. Tiga jenis prekursor lignin[3]

Lignin juga dapat meningkatkan dispersi dari *carbon black* dan silika di dalam *compound* sehingga meningkatkan sifat mekanik serta kemampuan proses dari *compound*.

Penelitian yang memanfaatkan lignin pada *compound* karet telah beberapa kali dilakukan. Salah satunya yaitu penelitian oleh Takashi Sakurai dan Hirofumi Hayashi (2009), dimana lignin sulfonat sebanyak 3 phr digunakan sebagai aditif pada ban dan diperoleh penurunan sifat viskositas (makin rendah viskositas makin mudah diproses) hingga 7%, dan peningkatan elongasi hingga 16%[6]. Hasil tersebut menunjukkan potensi dari lignin sebagai aditif pada ban terhadap kemampuan proses serta sifat mekanik. Tujuan dari penelitian ini yaitu menggunakan lignin sebagai pengganti resin pada vulkanisat tapak ban PCR untuk melihat efek dari lignin terhadap kemampuan proses serta sifat mekanik dari vulkanisat dibandingkan dengan resin. Sifat mekanik yang diuji yaitu kekerasan, modulus 300, kekuatan tarik, serta elongasi; sedangkan kemampuan proses yang diukur yaitu viskositas, *scorch time*, serta *cure time*

8 November 2017

MATERIAL DAN METODE

Material

Lignin yang digunakan dalam penelitian ini merupakan lignin komersil yang diperoleh dari perusahaan Domtar dengan nama produk Biochoice Lignin. Resin yang digunakan sebagai pembanding yaitu resin alam gum rosin serta resin sintetik yang diperoleh dari PT Multistrada Arah Sarana, Tbk. Kemudian untuk proses pembuatan *compound* digunakan bahan-bahan sebagai berikut: karet alam, *styrene butadiene rubber* (SBR), *butadiene rubber* (BR), silika, *filler additive*, *carbon black*, *silane coupling agent*, *activator*, *antidegradant*, *processing aid*, sulfur, dan *accelerator*. Semua bahan untuk pembuatan *compound* diperoleh dari PT Multistrada Arah Sarana, Tbk.

Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 tahap, yaitu pembuatan *compound* dan karakterisasi.

Pembuatan Compound

Proses pembuatan *compound* dilakukan pada mesin Banbury dengan kapasitas 2,6 L dan *fill factor* 0,7. Proses pembuatan *compound* terbagi menjadi 3 tahap, yaitu *masterbatch*, *remill*, dan *final mix*. *Masterbatch* merupakan tahap pencampuran awal dimana semua bahan kecuali bahan vulkanisasi dimasukkan ke dalam mesin, dan digiling selama ± 5 menit hingga temperatur 115 °C. *Remill* merupakan proses penggilingan untuk menurunkan viskositas dari *compound*. Kemudian *final mix* merupakan proses pencampuran akhir dengan menambahkan bahan vulkanisasi. *Compound* hasil proses *final mix* kemudian dilewatkan pada *double roll mill* menjadi bentuk lembaran dengan ketebalan tertentu. *Compound* dibuat sesuai dengan formula yang terdapat pada Tabel 1. Jumlah dari tiap material dinyatakan dengan satuan phr (*parts per hundred rubber*), yaitu jumlah material dalam berat tiap 100 bagian karet.

8 November 2017

Tabel 1. Formula compound dalam phr

Bahan	Nama Compound	
	Kontrol	Lignin
NR/SBR/BR	100,0	100,0
Silika	51,0	51,0
Filler additive	8,0	8,0
Carbon black	4,0	4,0
Lignin		5,0
Resin	5,0	
Coupling agent	8,2	8,2
Activator	3,5	3,5
Antidegradant	4,1	4,1
Processing aid	2,0	2,0
Sulfur	2,1	2,1
Accelerator	2,6	2,8

Karakterisasi

Kemampuan proses dari *compound* dikarakterisasi dengan menggunakan Rheometer MDR 2000. *Compound* dipotong berbentuk lingkaran dengan volume $9,5 \pm 0,5 \text{ cm}^3$ menggunakan alat pemotong spesimen. Kemudian spesimen dimasukkan ke dalam Rheometer dan diberi beban torsi sambil dipanaskan pada suhu $165 \text{ }^\circ\text{C}$ untuk memulai vulkanisasi. Mesin akan mencatat grafik kenaikan torsi terhadap waktu pemanasan sampel. Dari grafik kemudian dapat diperoleh 3 sifat, yaitu viskositas, *scorch time*, dan *cure time*.

Sifat mekanik dari spesimen yang diuji yaitu kekerasan, modulus 300, kekuatan tarik, serta elongasi. Pengujian sifat mekanik dilakukan 24 jam setelah *compound* divulkanisasi. Kekerasan vulkanisat diukur menggunakan Durometer dengan skala beban Shore A berdasarkan ASTM D 2240-15. Uji tarik vulkanisat dilakukan menggunakan mesin uji tarik Instron berdasarkan ISO 37-2005. Spesimen dipotong berbentuk *dumbbell* dengan panjang *gage length* 25 mm dan lebar 6 mm. Spesimen kemudian diberi beban tarik dan dicatat grafik tegangan terhadap regangan hingga patah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dibagi menjadi dua bahasan, yaitu kemampuan proses *compound* serta sifat mekanik vulkanisat. Pada kedua bahasan tersebut, hasil karakterisasi dari *compound* Lignin dibandingkan dengan *compound* Kontrol. Data disajikan dalam bentuk tabel serta grafik laba-laba, dimana pada grafik laba-laba digunakan nilai persen indeks dengan *compound* Kontrol pada nilai 100%.

8 November 2017

Penghitungan nilai indeks disesuaikan dengan sifat yang ditinjau, dimana untuk viskositas dan *cure time* (semakin rendah nilainya semakin baik) dihitung dengan persamaan (1), dan untuk sifat lainnya dihitung dengan persamaan (2).

$$\% \text{ Indeks} = \frac{\text{nilai compound kontrol}}{\text{nilai compound lignin}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ Indeks} = \frac{\text{nilai compound lignin}}{\text{nilai compound kontrol}} \times 100\% \quad (2)$$

Kemampuan Proses *Compound*

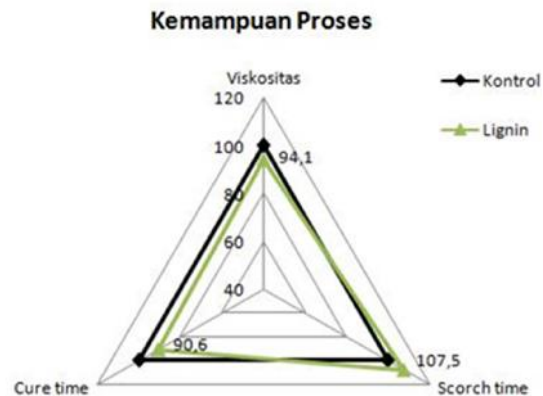
Kemampuan proses meninjau mudah atau tidaknya suatu *compound* untuk diproses, dimana mencakup 3 sifat, yaitu viskositas, *scorch time*, dan *cure time*. Untuk viskositas, semakin rendah viskositas *compound*, maka semakin mudah untuk diproses karena energi dan waktu yang dibutuhkan untuk proses pencampuran semakin rendah. Kemudian *scorch time* merupakan waktu jeda pemrosesan sebelum *compound* mengalami vulkanisasi.

Ketika telah mengalami vulkanisasi, maka *compound* tidak lagi dapat diproses, sehingga *scorch time* yang lama lebih disukai ketika pemrosesan. Selanjutnya *cure time* merupakan kecepatan pembentukan ikatan silang pada *compound*, dimana semakin cepat semakin baik. Hasil pengujian kemampuan proses *compound* dapat dilihat pada Tabel 2 dan gambar .

Tabel 2. Hasil karakterisasi Rheometer *compound* lignin dan kontrol

Sifat	Satuan	Compound	
		Lignin	Kontrol
Viskositas	m.u.	43,4	40,9
<i>Scorch time</i>	menit	17,8	16,5
<i>Cure time</i>	menit	6,2	5,7

8 November 2017



Gambar 2. Perbandingan kemampuan proses *compound* Lignin dengan Kontrol

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa penggantian resin dengan lignin meningkatkan indeks *scorch time*, namun menurunkan indeks *cure time* dan viskositas. Peningkatan pada *scorch time* kemungkinan disebabkan sifat dari lignin yang cenderung lebih asam, sehingga lignin akan menyerap *accelerator* dan meningkatkan *scorch time*. Sedangkan penurunan pada indeks *cure time* disebabkan efek sterik dari molekul lignin yang berukuran besar, sehingga menghalangi tempat pembentukan ikatan silang pada karet. Selain itu lignin dapat bereaksi dengan sistem vulkanisasi sehingga menghambat pengikatan sulfur oleh *accelerator*. Kemudian terdapat sedikit penurunan pada indeks viskositas, dimana berlawanan dengan hasil penelitian sebelumnya[6]. Penurunan tersebut dapat dikarenakan sifat *wetting* dari lignin yang tidak sebaik resin. Ketika proses pencampuran, resin dapat mencair dan meningkatkan kemampuan alir dari *compound*, sehingga dispersi bahan di dalam *compound* lebih baik.

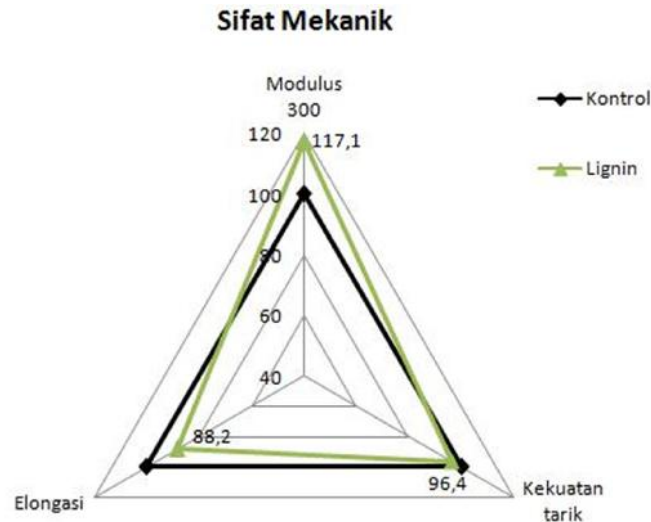
Sifat Mekanik Vulkanisat

Sifat mekanik dari vulkanisat Lignin dibandingkan dengan Kontrol sebagai acuan. Hasil pengujian sifat mekanik dapat dilihat Tabel 3, dan grafik perbandingan sifat mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat mekanik vulkanisat Lignin dan Kontrol

Sifat	Satuan	Vulkanisat	
		Lignin	Kontrol
Kekerasan	Shore-A	65,0	64,0
Modulus 300	MPa	11,1	9,5
Kekuatan tarik	MPa	15,5	16,1
Elongasi	%	396,2	449,2

8 November 2017



Gambar 3. Perbandingan sifat mekanik compound Lignin dengan Kontrol

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa penggantian resin dengan lignin meningkatkan indeks modulus 300, namun menurunkan indeks kekuatan tarik dan elongasi. Sedangkan untuk kekerasan cenderung tidak berubah. Peningkatan modulus 300 yang disertai dengan penurunan elongasi dan kekuatan tarik tersebut menandakan sifat dari vulkanisat yang lebih getas. Hal tersebut dikarenakan dispersi dari bahan pengisi yang kurang baik di dalam karet. Ketika dispersi dari bahan pengisi kurang baik, maka bahan pengisi akan beraglomerasi di dalam karet, sehingga ukuran partikel bahan pengisi menjadi lebih besar. Ukuran partikel yang besar menyebabkan efek *hydrodynamic* (peningkatan kekakuan akibat adanya bahan pengisi yang lebih kaku) yang meningkatkan modulus dari karet, namun kekuatan tarik dan elongasi turun dikarenakan terdapat konsentrasi tegangan yang lebih besar pada bahan pengisi, sehingga vulkanisat lebih mudah gagal.

Selain itu dispersi yang kurang baik juga menurunkan luas permukaan kontak dari bahan pengisi, sehingga interaksi bahan pengisi dengan karet menurun. Dalam hal ini kemampuan mendispersikan dari lignin masih belum sebaik resin.

KESIMPULAN

Penggantian resin dengan lignin pada vulkanisat tapak ban meningkatkan indeks *scorch time* sebesar 7,5% dan modulus 300 sebesar 17,1%; sedangkan indeks viskositas, *cure rate*, kekuatan tarik, dan elongasi menurun. Peningkatan *scorch time* disebabkan lignin dapat berinteraksi dengan sistem vulkanisasi sehingga menghambat vulkanisasi.

8 November 2017

Untuk kemampuan sebagai pendispersi, performa dari lignin dalam mendispersikan bahan pengisi belum sebaik resin, dimana terlihat dari penurunan indeks viskositas, elongasi, dan kekuatan tarik. Dalam hal ini lignin masih belum dapat sepenuhnya menggantikan peran resin di dalam *compound*.

ACKNOWLEDGEMENTS

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kami haturkan kepada PT Multistrada Arah Sarana, Tbk yang telah menyediakan bahan untuk pembuatan *compound* serta memberikan fasilitas dan bantuan dalam pembuatan serta pengujian spesimen. Penelitian ini merupakan kerjasama antara PT Multistrada Arah Sarana, Tbk dan Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.

REFERENSI

1. Faruk and M. Sain, *Lignin in Polymer Composites* (Elsevier Inc., Massachusetts, 2016), pp. 1
2. S.B. dos Santos, et al., *Characterisation of Kraft Lignin Separated by Gradient Acid Precipitation* (Elsevier B.V., Amsterdam, 2014), pp. 149.
3. V. K. Thakur, et al., *Progress in Green Polymer Composites from Lignin for Multifunctional Applications: A Review* (ACS, Washington, DC, 2014), pp. 1072-1073.
4. I. Brodin, *Chemical Properties and Thermal Behavior of Kraft Lignins* (KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 2009), pp. 2.
5. W. Zhu, *Equilibrium of Lignin Precipitation* (Chalmers Reproservice, Gothenburg, 2013), pp. 6-7.
6. T. Sakurai, et al., *Rubber Composition and Pneumatic Tire* (US Patent Application Publication, Minneapolis, 2009).

8 November 2017

**Studi Metoda Polarisasi Untuk Mengukur Ketahanan Korosi Baja SPCC Dengan
Deposit Nano Hasil Lapis Listrik Nikel Beraditif Sodium Sitrat**

Rini Riastuti^{1, A)}, Cika Ramadini^{1,B)}, Falah Herdino^{1,C)}, Achmad Rifki^{1, D)}, & Sonia
Taruli Siallagan^{1,E)}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia Kampus Baru UI Depok

^{a)}riastuti@metal.ui.ac.id ^{b)}cika.ramadini@gmail.com ^{c)}falahherdino@yahoo.com

^{d)}ahmadrifki123@yahoo.com ^{e)}soniasiallagan@gmail.com

Abstract.

The refining of crystalline size in nickel deposit as coating layer can improve mechanical and chemical properties of substrate, one of which corrosion resistance. There are several technique to produce nanocrystalline layer on nickel electroplating process such as an addition of sodium citrate as grain refiner. This paper aim to investigate the effect of sodium citrate addition as grain refiner to corrosion resistance on SPCC. The corrosion behavior of SPCC was observed by linear polarization method using 3% NaCl solution. This experiment used watts nickel solution with composition of NiSO₄ 300 g /L, NiCl₄ 30 g/L, H₃BO₃ 30 g /L, wetting agent 0.2 cc/ L and sodium citrate 60g/L. Nickel were deposited by direct current using current density on 6 A/cm² at the acidity level of 5 for 20 minutes by keeping the operating temperature stable at 50°C. Based on the research, the addition of sodium citrate as grain refiner will increasing corrosion resistance on SPCC.

Keyword: Nano deposit, *electroplating nickel*, sodium sitrat, polarisasi

1 PENDAHULUAN

Baja SPCC merupakan jenis baja yang cukup banyak digunakan dalam industri karena sifat mekaniknya yang sangat baik, namun baja jenis ini mudah mengalami korosi pada keadaan atmosfer [1]. Oleh karena itu, langkah preventif untuk mencegah terjadinya korosi perlu dilakukan, salah satu metode paling mudah adalah dengan melakukan pelapisan [2]. Pelapisan dapat dilakukan dengan menggunakan material berbasah dasar logam yang memiliki nilai potensial reduksi yang lebih rendah dibandingkan dengan logam yang akan dilapisi, metode ini dapat dilakukan dengan teknik lapis listrik [3].

8 November 2017

Nikel merupakan salah satu logam dengan nilai potensial reduksi yang lebih rendah dibandingkan Ferrous. Lapis listrik nikel adalah proses mendepositkan logam nikel murni ke permukaan material secara kimiawi dengan bantuan arus listrik searah [4,5].

Material nanokristalin merupakan material penting dalam industri saat ini karena sifat mekanik dan kimianya yang baik. Material jenis ini biasa digunakan sebagai bahan pelapis pada metode lapis listrik. Saat ini, pengaplikasian pelapisan nanokristalin nikel telah luas digunakan. Banyak penelitian yang fokus untuk meningkatkan kinerja lapisan ini, namun penelitian yang fokus terhadap sifat korosi dari lapisan nanokristalin nikel ini masih relatif sedikit [6]. Untuk meningkatkan ketahanan korosi yang dihasilkan dari lapisan nanokristalin nikel ini, banyak cara bisa dilakukan salah satunya adalah dengan mengecilkan ukuran butir. Semakin kecil ukuran butir dari nanokristalin, maka ketahanan korosinya pun meningkat atau dapat dikatakan bahwa laju korosi menjadi menurun [7]. Meningkatnya ketahanan korosi ini dikarenakan meningkatnya densitas batas butir yang menyebabkan lapisan pasif menjadi lebih cepat untuk terbentuk [8].

Penghalusan ukuran butir telah banyak dilakukan menggunakan sakarin sebagai *brightener* [9]. Namun, penggunaan sakarin memiliki kekurangan yaitu kemungkinan untuk terjadinya *intergranular embrittlement* [10]. Oleh karena itu, digunakan sodium sitrat sebagai zat penghalus butir sebagai alternatif pengganti sakarin. Sodium sitrat dapat digunakan sebagai zat penghalus butir dalam elektroplating telah dijelaskan dalam paten WO 1994012695 [11]. Meskipun telah masuk ke dalam paten dan memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan sakarin, belum banyak penelitian terkait sodium sitrat sebagai grain refinement yang membahas tentang mekanisme penghalusan butirnya [12].

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat ketahanan korosi pada baja SPCC yang dilapisi oleh lapisan nanokristalin nikel dengan tambahan aditif sodium sitrat. Ketahanan korosi dari lapisan ini diuji dengan menggunakan metode *Linear Polarization*.

[2]. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah baja SPCC dengan kandungan karbon sebanyak 0.0448% (Lihat Tabel. 1) berukuran 35mm x 10mm x 1,6mm sebagai substrat yang akan dilapisi. Komposisi kimia material SPCC dilakukan melalui pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES).

8 November 2017

TABEL 1. Komposisi Kimia dari Baja SPCC yang digunakan

Material	Komposisi Kimia (%)			
	C	Mn	P	S
SPCC	0.0448	0.181	0.0107	0.0076

2.2 Metode

Preparasi permukaan baja dengan cara diampelas secara manual dengan menggunakan kertas ampelas grid 320 untuk menghilangkan lapisan-lapisan oksida yang terbentuk di permukaannya. Kemudian dilakukan *degreasing* dengan mencelupkan substrat ke dalam larutan 10wt% NaOH selama 15 menit pada suhu 70°C. Selanjutnya, dilakukan proses cuci asam (*pickling*) pada substrat dengan mencelupkannya ke dalam larutan 30wt% HCl selama 20 menit pada suhu ruang. Preparasi ini dilakukan untuk menghasilkan permukaan baja SPCC yang bebas karat, minyak, dan berbagai substansi lain yang tidak diinginkan.

Pada pengujian ini dilakukan dua metode proses lapis listrik, yaitu proses lapis listrik tanpa penambahan aditif dan proses lapis listrik dengan penambahan sodium sitrat sebagai aditif. Proses lapis listrik dilakukan dengan Watts bath yang mengandung nikel sulfat (300 g/L), nikel klorida (300 g/L), asam borat (30g/L), dan aquadest (1000 mL) dengan tambahan *wetting agent* sebanyak 0,2cc/L. Untuk proses lapis listrik dengan penambahan aditif, digunakan sodium sitrat sebanyak 60g/L. Watts bath ini kemudian di homogenisasi dengan cara diaduk menggunakan pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*). Pada penelitian ini digunakan karbon sebagai anoda. Proses lapis listrik dijalankan dengan menggunakan aliran listrik searah (DC) sebesar 6 A/cm² dan suhu larutan dijaga pada temperatur 50°C dengan tingkat keasaman larutan 5 selama 20 menit.

Untuk pengujian polarisasi, digunakan sampel dengan ukuran 10mm x 10mm x 1,6mm yang diberi bantalan (*mounting*) agar permukaan hasil lapis listrik saja yang akan terpapar larutan. Luas area yang terpapar elektrolit sebesar 1 cm². Pada bagian plat baja yang berada di dalam *mounting*, diberikan sambungan listrik dengan kabel tembaga. Pengukuran elektrokimia dilakukan dengan menggunakan tiga sel elektroda, yaitu baja SPCC sebagai *working electrode*, plat platinum sebagai *counter electrode*, dan *Silver-Silver Chloride* (SSC) sebagai *reference electrode*.

8 November 2017

Ketiga elektroda dicelupkan ke dalam larutan NaCl 3% dengan pH 6. Pengujian polarisasi dilakukan dengan menggunakan perangkat NOVA AUTOLAB dengan *software* NOVA 1.11.2. Sebelum semua pengukuran, sampel direndam ke dalam elektrolit selama 120 detik untuk menstabilkan potensial sirkuit terbuka (*Open Circuit Potential* / OCP). Untuk menentukan resistansi polarisasi, nilai potensial korosi, dan kerapatan arus korosi, dilakukan pengaturan pada *Linear Sweep Voltammetry* (LSV). LSV adalah laju pemindaian sebesar 10 mV/s. Arah pemindaian ditentukan oleh potensial awal pada -0,2 V dan potensial berhenti pada 1,0 V.

Untuk menentukan besar rata-rata ukuran butir ditentukan dengan pengujian X-Ray Diffraction (XRD) menggunakan persamaan Scherrer (Persamaan 1).

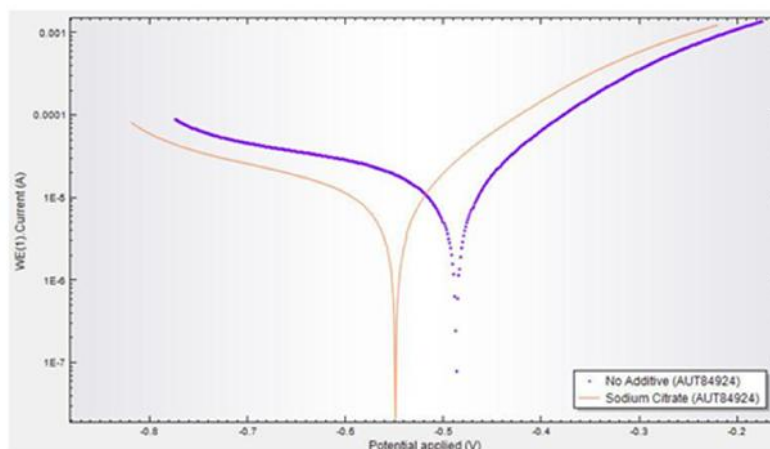
$$L = K \cdot \lambda / B \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Dimana :

L merupakan ukuran butir pada arah normal dari bidang pantul, λ adalah panjang gelombang X-ray. B adalah half-height width of 2 θ diffraction peak; θ adalah sudut refleksi Bragg, dan K adalah konstanta Scherrer (-0.7 ~ 1.7). Rentang ukuran butir dengan menggunakan persamaan ini adalah 1—100 nm.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1.1 Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Ketahanan Korosi



GAMBAR 1. Hasil Uji Polarisasi pada Baja Lapis Listrik Nikel Tanpa dan dengan Penambahan Aditif Sodium Sitrat.

8 November 2017

Gambar 1 menunjukkan diagram hasil pengujian polarisasi menggunakan metode *linear polarization* dari sampel yang telah dilakukan lapis listrik nikel tanpa aditif dan sampel yang dilakukan lapis listrik menggunakan sodium sitrat sebagai aditifnya. Nilai potensial yang tercantum vs SSC karena pada pengujian ini *Silver-Silver Chloride* (SSC) sebagai *reference electrode*. Terlihat pada gambar bahwa hasil pengujian pada hasil lapis listrik nikel dengan penambahan aditif sodium sitrat memiliki nilai potensial korosi yang lebih negatif dibandingkan dengan hasil lapis listrik nikel tanpa penambahan aditif. Hal ini ditunjukkan dengan bentuk grafik polarisasi pada hasil lapis listrik nikel dengan tambahan aditif sodium sitrat yang berada di sisi lebih kiri. Nilai potensial yang lebih negatif pada pengujian menggunakan NaCl 3% menunjukkan bahwa material tersebut memiliki ketahanan korosi yang lebih baik [7].

TABEL 2. Data Uji Polarisasi untuk Baja Lapis Listrik Nikel Tanpa dan dengan Penambahan Aditif Sodium Sitrat.

Kriteria	Tanpa Aditif	Aditif Sodium Sitrat
β_a (mV/dec)	650.40	491.34
β_c (mV/dec)	149.75	141.07
E_{corr} (mV)	-487.17	-549.25
i_{corr} (A/cm ²)	21.907	13.959
Corr.rate (mm/year)	0.25456	0.1622
R_p (k Ω)	2.4130	3.4099

Pada Tabel 2, E_{corr} menunjukkan nilai potensial korosi, i_{corr} menunjukkan nilai *corrosion current density*, R_p menunjukkan nilai ketahanan polarisasi (*polarization resistance*), sedangkan β_a serta β_c menunjukkan konstanta Tafel (*Tafel slope*) di mana β_a adalah konstanta Tafel anodik dan β_c adalah konstanta Tafel katodik. Nilai E_{corr} didapatkan dengan menggunakan teknik Tafel extrapolarization pada software NOVA AUTOLAB 1.11.2. Terlihat bahwa terjadi penurunan pada nilai i_{corr} pada baja lapis listrik nikel dengan penambahan aditif sodium sitrat dan diiringi dengan kenaikan nilai ketahanan polarisasi. Penurunan nilai ini dapat disebabkan oleh turunnya nilai *Tafel slope* sebagai akibat dari penambahan aditif sodium sitrat. Nilai β_a turun menjadi 491.34 mV/dec, sedangkan nilai β_c turun menjadi 141.07 mV/dec. Hubungan antara penurunan nilai *Tafel slope* dengan dengan penurunan nilai i_{corr} sesuai dengan persamaan Stern-Geary (Persamaan 2) [13,14].

8 November 2017

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2,303 \times R_p (\beta_a + \beta_c)} \quad (2)$$

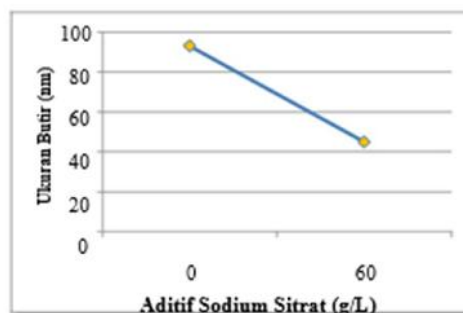
Dari persamaan (2) juga dapat terlihat bahwa terdapat hubungan antara nilai *polarization resistance* dengan nilai *corrosion current density*. Semakin besar nilai R_p , maka i_{corr} akan mengalami penurunan.

Peningkatan nilai R_p mengindikasikan bahwa material tersebut membutuhkan energi aktivasi yang lebih besar untuk terlarut, sehingga material menjadi lebih sulit mengalami reaksi elektrokimia dan laju korosi yang terjadi akan semakin kecil [15].

Dari data Tabel 2 dapat terlihat bahwa nilai laju korosi (*Corr.rate*) pada lapisan nikel hasil lapis listrik dengan tambahan aditif sodium sitrat memiliki nilai yang lebih kecil, yaitu sebesar 0,1622 mm/tahun, dibandingkan dengan nilai laju korosi pada hasil lapis listrik nikel tanpa aditif dengan nilai sebesar 0,25456 mm/tahun.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan aditif sodium sitrat meningkatkan ketahanan korosi pada lapisan nikel yang dihasilkan [7,13,16].

3.1.2 Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Ukuran Butir



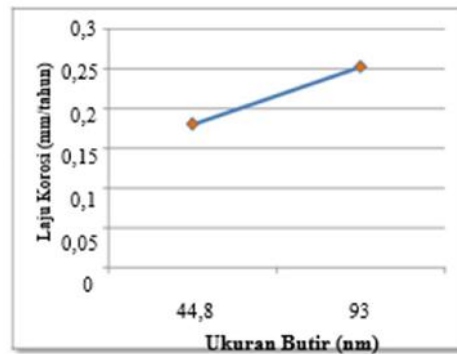
GAMBAR 2. Pengaruh Penambahan Aditif terhadap Ukuran Butir

Dari hasil perhitungan XRD menggunakan persamaan Schehrer pada baja hasil lapis listrik nikel didapatkan nilai ukuran butir pada hasil deposit nikel yang dilakukan tanpa penambahan aditif sebesar 93 nm, sedangkan pada deposit nikel hasil lapis listrik dengan penambahan sodium sitrat sebanyak 60 g/L didapatkan nilai ukuran butir sebesar 44,8 nm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan aditif sodium sitrat dapat memperhalus ukuran butir deposit nikel yang dihasilkan [11]. Sodium sitrat yang terlarut dalam larutan elektrolit akan teradsorpsi dan menjadi penghalang dari jalannya difusi pada permukaan aktif pertumbuhan butir. Ketika adsorpsi berjalan sempurna, maka pertumbuhan itu akan terhalang.

8 November 2017

Frekuensi nuklei akan meningkat, namun tidak diiringi dengan pertumbuhan, sehingga menghasilkan butir yang lebih halus [17].

3.1.3 Pengaruh Besar Ukuran Butir terhadap Ketahanan Korosi



GAMBAR 3. Pengaruh Besar Ukuran Butir terhadap Laju Korosi

Dari Gambar 3 terlihat bahwa baja lapis listrik nikel dengan ukuran butir yang lebih kecil (44,8 nm) memiliki laju korosi yang lebih rendah (0,1622 mm/tahun). Semakin kecil ukuran butir dari nanokristalin, maka ketahanan korosinya pun meningkat atau dapat dikatakan bahwa laju korosi menjadi menurun [7]. Meningkatnya ketahanan korosi ini dikarenakan terjadinya peningkatan densitas batas butir yang menyebabkan lapisan pasif menjadi lebih cepat untuk terbentuk [8].

Nikel merupakan logam yang dapat menjadi pasif dengan mudah [2,4]. Proses pasivasi pertama dimulai pada permukaan *crystalline lattice defects* dan pada butir yang berukuran lebih kecil dengan densitas batas butir yang lebih tinggi. Fraksi batas butir yang lebih tinggi akan menyediakan sejumlah tempat aktif yang lebih banyak untuk lebih cepat terbentuk lapisan pasif yang protektif dan kontinu. Lapisan pasif menyebabkan elektron sulit bergerak menuju ke permukaan untuk melakukan reaksi elektrokimia. Hasil lapis listrik nikel yang memiliki ukuran butir lebih rendah akan memiliki fraksi lapisan pasif yang tinggi dikarenakan densitas yang tinggi untuk tempat terjadinya nukleasi lapisan pasif, sehingga laju korosi yang terjadi pada lapisan ini akan menjadi lebih rendah [18].

4 KESIMPULAN

[1]. Penambahan sodium sitrat sebagai aditif memperhalus ukuran butir lapis listrik nikel.

Aditif sodium sitrat yang terlarut di dalam larutan elektrolit akan teradsorpsi dan menjadi penghalang dari jalannya difusi pada permukaan aktif pertumbuhan butir.

8 November 2017

Pertumbuhan butir yang terhalang dan terjadinya peningkatan frekuensi nuklei butir secara kontinu menghasilkan butir dengan ukuran yang lebih halus.

[2].Ketahanan korosi pada lapisan hasil lapis listrik nikel dengan penambahan aditif sodium sitrat mengalami peningkatan. Hal ini terlihat dari nilai laju korosi yang mengalami penurunan. Pada butir yang lebih halus dengan besar ukuran butir 44,8 nm, laju korosi yang terjadi sebesar 0,1622 mm/tahun.

[3].Butir hasil lapis listrik nikel yang berukuran lebih halus akan memiliki fraksi batas butir yang lebih tinggi. Hal ini akan menyebabkan tingginya densitas untuk tempat terjadinya nukleasi lapisan pasif, sehingga lapisan pasif yang terbentuk akan lebih stabil. Lapisan pasif yang stabil ini akan menjadikan pergerakan elektron terhambat, sehingga elektron sulit bergerak ke permukaan untuk melakukan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia yang terhambat akan menurunkan laju korosi yang terjadi dan dengan kata lain meningkatkan ketahanan korosi pada material tersebut.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak PITTA UI untuk segala fasilitas dan dukungan finansial yang diberikan dalam rangka mendukung terwujudnya penelitian ini.

8 November 2017

REFERENSI

1. C. Lin, J. Lee, H. Seu, and S. Tsai, *Int. J. Electrochem. Sci*, 7965–7976 (2017).
2. G. D. Bari, “Nickel Plating,” in *ASM Handbook, Volume 5, Surface Engineering* (ASM International, USA, 1994), pp 742-765.
3. J. Mazia, “Electroplated Coatings,” in *ASM Handbook, Volume 13, Corrosion* (ASM International, USA, 1987), pp 942-975.
4. G. A. D. Bari, “Electrodeposition of Nickel,” in *Modern Electroplating Fifth Edition*, edited by M. Schlesinger (John Wiley & Sons Inc, Hoboken, 2010), pp. 79–114.
5. T. Mooney, “Electroplated Coatings,” in *ASM Handbook, Volume 13A, Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection* (ASM International, USA, 2003), 772–785.
6. W. Cheng, W. Ge, Q. Yang, and X. Qu, *Appl. Surf. Sci.* Vol. **276**, 604-608 (2013).
7. Q. Li-yuan, L. Jian-she, and J. Qing, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*. Vol. **20**, 82–89 (2010).
8. L. Wang, J. Zhang, Y. Gao, and Q. Xue, *Scr. Mater.* Vol. **55**, 657-660 (2006).
9. N. P. Wasekar, P. Haridoss, S. K. Seshadri, and G. Sundararajan, *Surf. Coat. Technol. India*. Vol. **291**, 130–140 (2016).
10. ASTM B 832–93, Standard Guide for Electroforming with Nickel and Copper, American Society for Testing and Materials Annual Book, vol. 02.05.
11. U. Erb, A. M. El-Sherik, C. K. S. Cheung, and M. J. Aus, WIPO Patent No. 1994012695 A1 (9 June 1994).
12. B. L. Buckalew and T. A. Ponnuswamy, U.S. Patent No. 20150299882 A1 (22 October 2015).
13. R. Mishra and R. Balasubramaniam, *Corros. Sci.* Vol. **46**, 3019-3029 (2004).
14. M. Stern and A.L. Geary, *J. Electrochem. Soc.* Vol. **104**, 56-63 (1957).
15. Kh.M.S. Youssef, C.C. Koch, and P.S. Fedkiw, *Corros. Sci.* Vol. **46**, 51-64 (2004).
16. S. Wang, “Electrochemical Properties of Nano crystalline Nickel and Nickel-Molybdenum Alloys,” Ph.D. Thesis, Queen’s University, 1997.
17. A.M. Rashidi, and A. Amadeh, *J. Mater. Sci. Technol.* Vol. **26**, 82-86 (2010).

**PENGARUH PENAMBAHAN SURFAKTAN PADA NANOPARTIKEL KARBON
ARANG UNTUK PEMBUATAN NANOFLUIDA SEBAGAI MEDIA *QUENCH***

A. N. Haqoh^{1,A)}, S. Trixie^{1,B)}, F. A. Syauqi^{1,C)}, A. Alfarizi^{1,D)}, M. Naufalino^{1,E)}, G.
Ramahdita^{2,F)}, S. Harjanto^{2,G)}, & W.N. Putra^{2,H)}

¹Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

²Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, UI

^aalfina.nurul@ui.ac.id ^brixiest@yahoo.com ^cfatihlewanussa@gmail.com

^dalfarizialdi53@gmail.com ^emaulananaufalino@gmail.com ^fghiska@metal.ui.ac.id

^jharjanto@metal.ui.ac.id ^kwahyuaji@metal.ui.ac.id

ABSTRACT

The application of nanofluids as a *quench* medium can be attributed to the heat transfer characteristics as nanofluids have higher thermal conductivity compared to the conventional *quench* media e.g. water, oil, etc. This unique phenomenon is caused by the nanoparticles inside the fluid which can perform better on heat absorption and heat transfer. Furthermore, with the variation of nanoparticles content in nanofluid *quench* medium, the cooling rate can be controlled in accordance with the desired characteristics of the material. Carbon is widely used as a nanoparticle because of the low cost and environmental friendly characteristics. Unfortunately, carbon nanoparticle is highly hydrophobic. Therefore, surface modification is needed by using surfactant in the nanofluids. In this paper, SDS (sodium dodecyl sulfate) based surfactant was used to modify the surface of carbon nanoparticle.

PENDAHULUAN

Pada industri manufaktur, nilai suatu kekerasan material sangat berperan penting berkaitan dengan cara kerja peralatan yang dibutuhkan. Penggunaan baja karbon dengan kekerasan yang tinggi biasa digunakan pada *spare – part* beberapa mesin seperti *gear*, *blade*, dan lain sebagainya. Perbedaan kecepatan pendinginan sangat menentukan nilai indentasi logam. Semakin cepat proses pendinginan, maka kekerasan material akan semakin tinggi. *Quenching* merupakan proses pendinginan cepat pada material dengan tujuan menghasilkan struktur yang keras.

Ada tiga tahapan dalam proses *quenching* yaitu selimut uap, pendidihan, konveksi.^[1] Nilai indentasi yang tinggi ini dapat dihasilkan dari proses perlakuan panas baja karbon yaitu dengan *quenching* menggunakan media pendingin sedang seperti air, polimer, dan oli. Namun, media pendingin tersebut tidak dapat dikontrol kecepatannya.

Nanofluida karbon dapat menjadi solusi dikarenakan karbon memiliki sifat konduktifitas termal yang baik sehingga diharapkan mampu menjadi media *quench* medium yang lebih baik dan ramah lingkungan.^[2] Nanofluida merupakan suspensi yang berasal dari campuran nanopartikel dengan pelarut dasar, dalam hal ini aquades. Penggunaan partikel berukuran nano bertujuan untuk menambah luas permukaan benda yang bertujuan menambah konduktivitas termal. Nanopartikel yang digunakan berupa karbon aktif yang memiliki sifat konduktif sehingga sifat konduktifitas termalnya bagus. Konduktifitas termal sangat berpengaruh dalam proses *quenching* karena semakin bagus sifat konduktifitas termalnya maka laju perpindahan panas dari benda menuju larutan semakin cepat mengakibatkan proses *quenching* lebih maksimal dan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi.

Penggunaan surfaktan juga diharapkan mampu menjadikan media *quench* lebih baik lagi, karena memiliki sifat yang mampu membantu pendinginan.^[3] Penambahan surfaktan pada nanofluida berfungsi untuk mendispersi karbon pada larutan. Surfaktan akan mengubah sifat fisik karbon dari hidrofobik menjadi hidrofilik sehingga dapat tercampur dalam larutan.

MATERIAL DAN METODE

Material

Nanofluida dapat dibuat dengan melarutkan karbon berukuran 10 – 30 nm pada larutan aquades. Pada penelitian ini, akan dilihat pengaruh penambahan surfaktan terhadap kekerasan yang dihasilkan. Larutan nanofluida ditambahkan surfaktan agar carbon dalam larutan dapat menyebar secara merata dan benar – benar larut dalam nanofluida. Surfaktan yang digunakan berasal dari detergen *so klin liquid* yang mengandung surfaktan berupa SDS (sodium dodecyl sulfate). Media *quench* dibuat dengan campuran 0,1 gram karbon berukuran nano dengan campuran surfaktan dan aquades dengan total volume sebanyak 100 ml.

Metode

Sampel berupa baja S45C dipanaskan dalam furnace dengan suhu 1050°C dengan waktu tahan 2 jam di lakukan pendinginan secara cepat pada larutan nanofluida. Untuk mengetahui nilai indentasi dan struktur mikro sampel, dilakukan analisa metallografi. Persiapan sampel dilakukan dengan melakukan mounting pada sampel dengan menggunakan media mounting berupa resin dan beberapa hardener. Pengamplasan menggunakan grid paling kecil yaitu 80, 100, 120, 400, 600, 800, 1000 mesh. Kemudian sampel dipoles untuk mendapatkan permukaan yang halus seperti kaca.

Proses etsa dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur dengan metode korosi terkontrol. Sampel di celupkan pada etsa berupa nital selama 5 detik. Waktu 5 detik dilakukan agar tidak terjadi *overetching* berupa korosi yang terlalu lama pada sampel. Setelah itu sampel di bersihkan menggunakan aquades dan alkohol untuk menghilangkan bekas etsa.

Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan mikroskop optik (OM) dengan perbesaran hingga 20 kali. Dari pengamatan menggunakan OM didapat mikrostruktur sampel dan dapat dilihat fasa yang terbentuk dari hasil pendinginan cepat tersebut.

Uji kekerasan dilakukan menggunakan uji vickers. Uji vickers dipilih karena lebih akurat dibanding uji kekerasan lain seperti Brinell, Knoop, Rockwell dan lain sebagainya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Sebelum Quench

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan baja S45C sebelum quench.

Pengujian	Nilai Indentasi (mm)	Nilai indentasi Rata – rata (mm)	Kekerasan Vickers (HV)
Pertama	37,375	39.7	235,265
Kedua	41		
Ketiga	40,75		

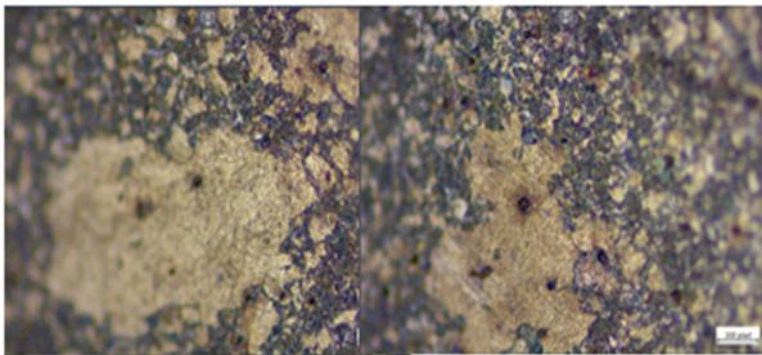
Hasil Pengujian Kekerasan Baja S45C Setelah Quench

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan baja S45C setelah quench.

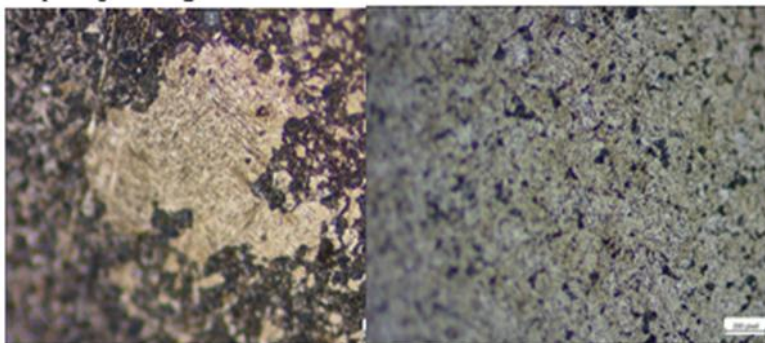
Tetes Surfaktan pada Sample	Pengujian 1 (mm)	Pengujian 2 (mm)	Pengujian 3 (mm)	Nilai Indentasi Rata – rata (mm)	Kekerasan Vickers (HV)
5	25,325	25,125	25,025	25,158	585,851
10	23,175	21,75	23	22,64	723,413
20	22,625	21,75	21,75	22,04	763,337
40	20,25	20,75	20,75	20,75	861,199

Hasil Mikrostruktur

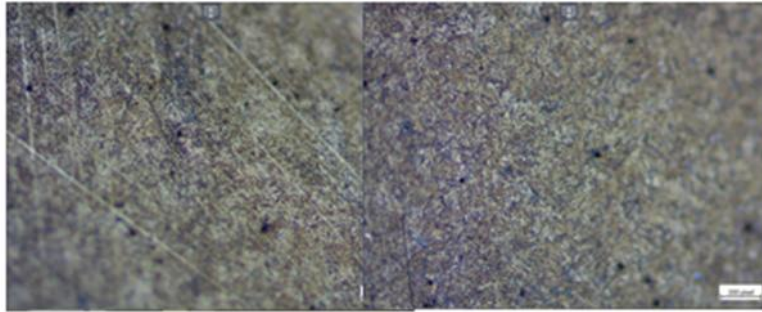
- Sample dengan Media *Quench* 5 tetes surfaktan



- Sample dengan Media *Quench* 10 tetes surfaktan



- Sample dengan Media *Quench* 20 tetes surfaktan



- Sample dengan Media *Quench* 40 tetes surfaktan



Hasil Terhadap Sifat Mekanik Material

Nilai kekerasan yang didapat pada pengujian kekerasan setiap sampel S45C dengan variasi banyaknya penambahan surfaktan menunjukkan hasil yang berbeda. Kandungan surfaktan pada larutan, akan mempengaruhi kelarutan karbon dimana semakin banyak penambahan surfaktan akan menambah kelarutan karbon pada larutan. Jika karbon dalam larutan nanofluida semakin tersebar merata, maka konduktivitas termal yang dihasilkan semakin tinggi dan menyebabkan kecepatan pendinginan yang tinggi pula. Pada hasil percobaan menunjukkan penambahan surfaktan paling tinggi menghasilkan struktur martensit yang lebih banyak sehingga menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi.

Hasil Karakterisasi

- Berdasarkan gambar mikrostruktur yang dihasilkan proses *Quench* dengan penambahan 5 tetes surfaktan pada media *Quench*, terlihat mikrostruktur pada matriks memiliki porositas, hal tersebut dapat dikarenakan ketidaksempurnaan saat mounting atau proses pengamplasan. Warna kuning pada matriks dapat dihasilkan oleh pengaruh warna additive pada detergent.

- Berdasarkan gambar mikrostruktur yang dihasilkan proses *Quench* dengan penambahan 10 tetes surfaktan pada media *Quench*, terlihat fasa martensit pada matriks mulai bertambah dan masih terdapat sedikit warna kuning karena pengaruh additive warna detergent.
- Berdasarkan gambar mikrostruktur yang dihasilkan proses *Quench* dengan penambahan 20 tetes surfaktan pada media *Quench*, terlihat mikrostruktur pada matriks mengalami pertambahan fasa martensit dan warna kuning sudah menghilang.
- Berdasarkan gambar mikrostruktur yang dihasilkan proses *Quench* dengan penambahan 40 tetes surfaktan pada media *Quench*, terlihat mikrostruktur pada matriks yang memiliki fasa martensit semakin banyak.

KESIMPULAN

Penambahan surfaktan (Sodium Lauryl Sulfate) pada media *Quench* karbon merupakan langkah efektif karena membuat karbon semakin mudah larut dalam air dimana larutan air, karbon, dan surfaktan ini memiliki laju pendinginan yang baik sehingga mempermudah material untuk membentuk martensit, dimana fasa martensit merupakan fasa yang diinginkan dalam proses *Quench* agar menghasilkan sifat mekanik yang keras.

REFERENSI

1. Babu, K, and T S Prasanna Kumar. "International Journal of Heat and Mass Transfer Effect of CNT Concentration and Agitation on Surface Heat Flux during *Quenching* in CNT Nanofluids." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54, no. 1–3 (2011): 106–17. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.10.003.
2. Chen, Lifei, and Huaqing Xie. "Thermochimica Acta Properties of Carbon Nanotube Nanofluids Stabilized by Cationic Gemini Surfactant." *Thermochimica Acta* 506, no. 1–2 (2010): 62–66. doi:10.1016/j.tca.2010.04.016.
3. Esmaeilzadeha, Pouriya, Bahramian, Alireza, and Zahra Fakhroueian. 2011. "Adsorption of Anionic, Cationic and Nonionic Surfactants on Carbonate Rock in Presence of ZrO₂ Nanoparticles". Science Direct. Physics Procedia 22 (2011) 63 – 67.

Pemotongan Rantai Polimer MEH-PPV Dengan Radiasi UV

Mardiyati^{1, A)}

¹Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No.10, 40132. Bandung. Indonesia.

^{a)}Mardiyati@material.itb.ac.id

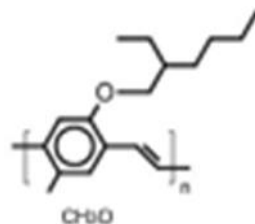
ABSTRACT

Molecular weight of polymer has crucial impact on most properties. MEH-PPV with low molecular weight is optimally suited for realization of all-optical switching application. The aim of this research was to obtain MEH-PPV with lower molecular weight and small PDI by chain cleavage using UV-irradiation. MEH-PPV was dissolved in chloroform and irradiated by using a high pressure 100 watt mercury lamp combined with water filter and UG-11 filter with different irradiation times. Molecular weight distribution of the irradiated samples was measured by gel permeation chromatography (GPC). UV-Vis absorption of sample was measured by means of UV-Vis spectroscopy. It was found that as UV-irradiation time increases, the molecular weight of irradiated polymer solution is decreasing systematically (4300 g/mol - 1400 g/mol), which means that the polymer chains were cut by UV-light. UV-Vis spectra of irradiated solution showed blue shifted from 481 nm to 417 nm, due to shorter conjugation lengths of MEH-PPV chains. However, characterized by means of FTIR showed presence of structural defects in MEH-PPV after irradiation.

Keywords : Chain cleavage, GPC, MEH-PPV, molecular weight, UV-irradiation

PENDAHULUAN

Polimer terkonjugasi merupakan material yang sangat menjanjikan untuk beberapa aplikasi, antara lain yaitu sebagai *polymer light emitting diodes* (PLED), plastic lasers, perangkat photovoltaic serta perangkat pandu gelombang optik terintegrasi [1,2]. Poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylene-vinylene] (MEH-PPV, struktur kimianya dapat dilihat pada Gambar 1) merupakan salah satu polimer terkonjugasi yang sering digunakan sebagai model yang dijadikan sebagai rujukan untuk mendapatkan hubungan antara struktur dan sifat dari polimer terkonjugasi [2,3,4]. MEH-PPV memiliki beberapa kelebihan, antara lain yaitu sifat semikonduktornya yang unggul, sifat luminescent, sifat optik non linear, kelarutannya pada pelarut organik yang umum serta kemudahannya untuk dibuat menjadi suatu film tipis.



Gambar 1. Struktur kimia MEH-PPV

Berat molekul dari MEH-PPV memberikan efek yang sangat penting terhadap sifat-sifatnya. MEH-PPV dengan berat molekul yang rendah sangat sesuai untuk merealisasikan aplikasi *all-optical switching* karena kemudahan preparasi film tipis dan kombinasi yang baik antara sifat nonlinearisitasnya yang tinggi serta *waveguide propagation losses* yang rendah[5]. Namun, MEH-PPV dengan berat molekul yang rendah tidak dijual secara komersial, sehingga diperlukan cara untuk mendapatkan MEH-PPV dengan rantai yang pendek.

Pada penelitian ini digunakan radiasi sinar UV untuk memotong rantai polimer MEH-PPV yang dibeli secara komersial untuk mendapatkan berat molekul yang rendah. Radiasi dilakukan terhadap larutan polimer hingga rentang waktu tertentu, kemudian berat molekul, panjang rantai serta struktur polimer dikarakterisasi dengan menggunakan gel permeation chromatography (GPC), spektroskopi UV-Vis serta spektroskopi FTIR.

MATERIAL DAN METODE

Pada sub bab berikut akan dijelaskan mengenai material serta metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

Material

Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Poly (2-methoxy-5(2'-ethyl-hexyloxy)-1,4-phenylenevinylene) (MEH-PPV) yang dibeli dari American Dye Source (ADS), Canada, dengan Mw 167000 g/mol, PDI 9,5. Polimer MEH-PPV kemudian difraksinasi sehingga diperoleh Mw 6600 g/mol, Mn 4300 g/mol, PDI 1,53.

Metode

Polimer MEH-PPV hasil fraksinasi dilarutkan didalam kloroform dengan konsentrasi 1 mg/mL. Larutan polimer kemudian di radiasi di dalam cuvet quartz berukuran 1 cm dengan menggunakan lampu mercury tekanan tinggi 100Watt (OSRAM Model HBO 100 W/2) yang dikombinasikan dengan UG-11 filter. Selama proses radiasi larutan diaduk dengan pengaduk magnetik secara kontinu dalam kurun waktu 1, 3, 5, 7 dan 9 menit. Setelah proses radiasi, pelarut kloroform diuapkan kemudian dilakukan pengukuran berat molekul dengan menggunakan gel permeation chromatography (GPC), pengukuran absorpsi dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis, serta karakterisasi struktur dengan menggunakan spektroskopi FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub bab berikut akan dipaparkan hasil pengujian larutan sebelum dan setelah proses radiasi dengan menggunakan sinar UV. Pengukuran berat molekul dilakukan dengan menggunakan GPC dengan THF sebagai eluent. Pengukuran serapan maksimum dilakukan dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis, dan untuk mengkarakterisasi struktur dan gugus fungsi dengan menggunakan spektroskopi FTIR.

8 November 2017

Hasil Karakterisasi gel permeation chromatography (GPC)

Hasil pengukuran berat molekul MEH-PPV dengan menggunakan GPC setelah proses radiasi hingga 9 menit dapat dilihat pada Tabel.1 dan Gambar 2. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya waktu radiasi, maka berat molekul dan derajat polimerisasi (n) turun secara sistematis, yang menunjukkan bahwa rantai polimer telah berhasil dipotong oleh sinar UV. Poly dispersity index (PDI) yang diperoleh juga cukup baik yang mengindikasikan bahwa proses pemotongan rantai menghasilkan panjang rantai dengan distribusi yang merata.

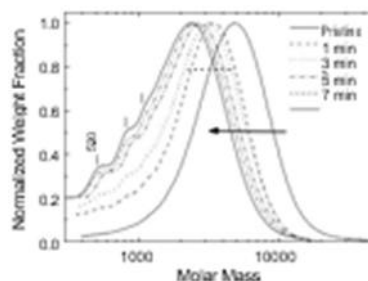
Gambar 2 merupakan kurva hasil pengukuran berat molekul dengan menggunakan GPC untuk setiap sampel sebelum dan setelah diradiasi hingga 9 menit.

Tabel 1. Berat molekul MEH-PPV sebelum dan setelah radiasi UV

Waktu radiasi [menit]	M_n [g/mol]	n	PDI
0	4300	17	1,53
1	2100	9	1,96
3	2000	8	2,0
5	1900	7	2,02
7	1600	6	1,95
9	1400	5	2,01

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada waktu radiasi 9 menit terdapat tiga puncak kecil yang berbeda pada nilai berat molekul 520 g/mol, 780 g/mol, dan 1040 g/mol.

Nilai ini menunjukkan adanya dimer, trimer dan tetramer sebagai hasil pemotongan rantai dengan menggunakan sinar UV.



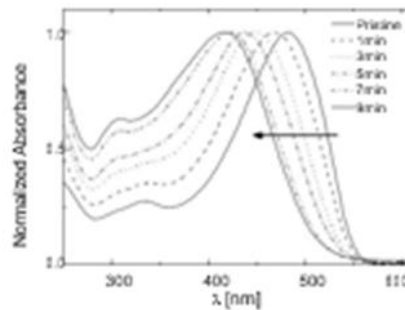
Gambar 2. Hasil pengukuran berat molekul larutan polimer dengan menggunakan GPC.

Panah menunjukkan pergeseran berat molekul dengan bertambahnya waktu radiasi.

8 November 2017

Hasil Karakterisasi Spektroskopi UV-Vis

Setelah dilakukan radiasi, dilakukan pengukuran serapan panjang gelombang maksimum dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis. Gambar 3 menunjukkan spektrum dari setiap larutan yang diradiasi.



Gambar 3. Spektrum UV-Vis larutan polimer MEH-PPV dalam kloroform sebelum dan setelah radiasi.

Panah menunjukkan pergeseran absorbansi seiring dengan bertambahnya waktu radiasi.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai λ_{\max} larutan bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil (*blue shift*) seiring dengan meningkatnya waktu radiasi. Data pergeseran serapan maksimum dari masing-masing larutan dalam kloroform dapat dilihat pada Tabel 2. Serapan maksimum untuk sampel yang belum diradiasi adalah 481nm, dan bergeser secara sistematis seiring dengan pertambahan waktu radiasi hingga 9 menit dengan nilai λ_{\max} 417nm. *Blue shift* ini disebabkan karena panjang konjugasi dari rantai MEH-PPV yang semakin pendek, yang membuktikan bahwa telah terjadi pemotongan rantai polimer akibat radiasi UV.

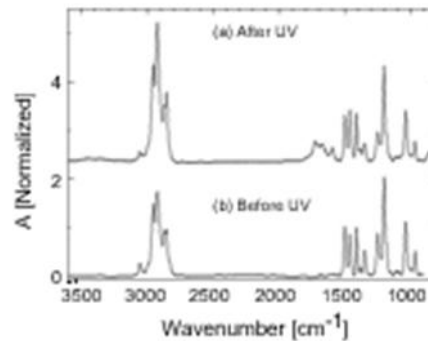
Tabel 2. Serapan maksimum larutan MEH-PPV sebelum dan setelah proses radiasi UV

Waktu radiasi [menit]	Mn [g/mol]	λ_{\max} dalam CHCl_3 [nm]
0	4300	481
1	2100	468
3	2000	446
5	1900	437
7	1600	422
9	1400	417

8 November 2017

Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR digunakan untuk melihat struktur MEH-PPV sebelum dan setelah proses radiasi. Spektrum FTIR yang telah dinormalisasi terhadap bilangan gelombang 1415 cm^{-1} dapat dilihat pada Gambar 4.



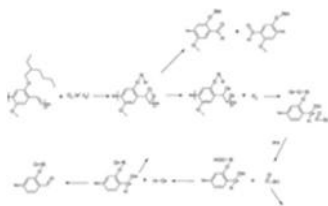
Gambar 4. Spektrum FTIR MEH-PPV sebelum dan setelah radiasi UV.

Setelah proses radiasi, perubahan spektrum yang cukup signifikan terjadi pada bilangan gelombang dalam rentang $1900 - 1550\text{ cm}^{-1}$. Dalam rentang tersebut terlihat munculnya puncak baru dan serapan beberapa puncak menjadi lebih tinggi. Interpretasi spektrum pada rentang $1900 - 1550\text{ cm}^{-1}$ dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat molekul MEH-PPV setelah iradiasi

ν sebelum [cm^{-1}]	I	ν setelah [cm^{-1}]	I	Gugus fungsi	Literatur [cm^{-1}]
-	-	1728	0.434	Ester atau asam karboksilat	1740 [6,7]
1672	-	1672	0.364	Aromatic Aldehyde	1685 [7] 1690
1600	-	1600	0.284	Phenyl quadrant ring stretch.	1600[8] 1598

Pada Tabel 3 terlihat adanya gugus aldehyd terminal (1672 cm^{-1}) dan ester atau asam karboksilat (1728 cm^{-1}) yang dihasilkan setelah proses radiasi. Hal ini menunjukkan adanya pemotongan rantai pada ikatan rangkap vinyl dan pembentukan gugus karbonil [6,7,8]. Dari spektrum ini dapat disimpulkan bahwa sinar UV tidak hanya memotong rantai-rantai polimer, tetapi juga menyebabkan degradasi pada polimer. Mekanisme photo degradasi dari MEH-PPV dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme photo degradasi MEH-PPV [9]

Polimer menyerap cahaya yang diikuti oleh perpindahan energi dari keadaan triplet PPV ke oksigen. Hasilnya adalah pembentukan oksigen singlet, yang bisa bereaksi dengan ikatan rangkap PPV. Reaksi ini memberikan endoperoksida yang tidak stabil yang terdekomposisi untuk menghasilkan dua aldehid aromatik yang disertai dengan pemutusan rantai [9].

KESIMPULAN

Radiasi sinar UV dapat digunakan untuk memotong rantai polimer MEH-PPV. Hasil pengukuran dengan GPC menunjukkan berat molekul polimer hasil radiasi lebih rendah dibandingkan sebelum radiasi, tetapi proses radiasi ini menimbulkan defek pada rantai polimer.

REFERENSI

1. M. D. McGehee, A. J. Heeger, *Adv. Mater.* 2000, 12, 1655.
2. M. Gaal, C. Gadermeier, H. Plank, E. Moderegger, A. Pogantsch, G. Leising, E.J.W. List, *Adv. Mater.* 2003, 15, 1165.
3. J.C.Scett, J.H.Kaufman, P.J.Brock, R. DiPietro, J.Salem and J.A.Goitia, *J.Appl. Phys.* 1996, 79, 2745.
4. B.J.Schwartz, *Annu. Rev. Phys. Chem.* 2003, 54, 141-72.
5. K.Koynov, A.Bahtiar, T.Ahn, R.M.Cordeiro, H.-H. Hörhold and C.Bubeck, *Macromolecules.* 2006, 39,8692.
6. M. Atrey, S. Li, E.T. Kang, K. G. Neoh, Z. H. Ma, K. L. Tan, W. Huang. *Polymer Degradation And Stability*, 1999, 65, 287 -296.
7. B. H. Cumpston, I. D. Parker, K. F. Jensen, *J. Appl. Phys.* 1997. 81, 8.
8. L.J. Rothberg, M. Yan, F. papadimitrakopoulos, M. E. Galvin, E. W. Kwock, T. M. Miler, *Synthetic Metals*, 1996, 80, 41 – 58.
9. J-L Gardette, A.Rivatton, S.Therias in *Photochemistry and Photophysics of Polymer Materials*. Edited by Norman S.Allen, Chap.15, J.Willey & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010.

Pengaruh Partikel Nano TiO₂ Pada Paduan Mg-Al-Zn Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Melalui Proses *Thixoforming*

Kusharjanto^{1, A)}, Supono Adi Dwiwanto^{2, B)}, Irwan Syah Bana^{3, C)}, & Adi Ganda Putra^{4,}

^{1, 2, 3}Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik,^{D)} Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung.

⁴Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung.

a) kusharjanto@lecture.unjani.ac.id b) dwiwanto_sa@yahoo.com

c) irwansyahbana95@gmail.com d) adigandaputra@yahoo.com

ABSTRACT

The use of a lightweight magnesium alloy as a substitute material on automotive parts has been interested for a decade. The need for light and strong materials has become one of the criteria in order to reduce fuel usage. Increased magnesium alloy strength can be carried out by adding oxide compounds. In addition, the determination of any manufacturing process can also determine the resulting mechanical properties. This study was conducted to determine the effect of the addition of nanoparticles TiO₂ in Mg-Al-Zn alloy to mechanical properties and microstructure. The size of nanoparticles TiO₂ is ± 50 nm. The variation of the composition for the addition of nanoparticles TiO₂ is in the range of 2%, 4% and 6 wt.%. The process used is semi-solid casting with Thixoforming method. The operating temperature used is 530°C and held for 20 minutes. The experimental results show that the addition of nanoparticles TiO₂ effect on Mg-Al-Zn magnesium alloys. There is increased hardness to both as-cast and thixoforming alloys. The as-cast magnesium alloy without the addition of nanoparticles TiO₂ has average hardness 47.98 VHN. Meanwhile, after the addition of nanoparticles TiO₂, the hardness was increased to 50.51 HV (2%), 54.52 VHN (4%) and 60.41 VHN (6%). After the thixoforming process, the hardness increased to 80.36 HV (0%), 83.42 VHN (2%), 88.20 VHN (4%) and 103.76 VHN (6%). the maximum hardness increase 103,76 HV was obtained on magnesium alloys with 6% of nanoparticles TiO₂ or 71.76% increase to as-cast 6% of nanoparticles TiO₂, or 116.26% increase compared to as-cast without addition of nanoparticles TiO₂. The thixoforming process converts the shape of the as-cast microstructures into a globular grains consisting of α-Mg and intermetallic β-Mg₁₇Al₁₂ compounds with nanoparticles of TiO₂ dispersed uniformly in α-Mg grains.

The grain size calculation results show that the thixoforming process can decrease grain size by the highest grain size decrease obtained in 6% nanoparticles TiO₂ 45.94 μ m or decrease 32.40%.

Keywords: Mg-Al-Zn alloy, nanoparticles TiO₂, thixoforming, hardness and microstructures.

PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade sebelumnya magnesium dikatakan sebagai unsur yang terlupakan, akan tetapi dengan seiring tingginya permasalahan mengenai tingkat pencemaran akibat gas buang kendaraan, berkurangnya cadangan bahan bakar minyak dan mobilitas masyarakat yang tinggi, maka harus dicari material pengganti yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Magnesium kemudian diusulkan sebagai material pengganti/substitusi pengganti aluminium dan baja, dikarenakan magnesium memiliki sifat yang lebih ringan[1]. Namun saat ini tidak hanya membutuhkan sifat ringan saja, tetapi diperlukan juga sifat mekanik. Peningkatan sifat mekanik magnesium dengan penambahan unsur padu menjadi kunci meluasnya penggunaan paduan magnesium. Di bidang transportasi, terbatasnya persediaan bahan bakar minyak, efisiensi penggunaan bahan bakar minyak dan emisi rumah kaca, sehingga penerapan material ringan menjadi pilihan dalam pembuatan komponen otomotif (misalnya badan dan rangka kendaraan) di masa depan. Berat kendaraan secara umum dipengaruhi oleh 3 komponen yaitu mesin (28%), badan (28%) dan rangka kendaraan (27%)[2]. bidang transportasi menggunakan 60% konsumsi energi sehingga diperlukan suatu kendaraan yang dapat menghemat energi dan menurunkan pencemaran lingkungan. Perkembangan pemanfaatan magnesium meningkat dengan dilakukannya pemaduan unsur-unsur lain yang dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan panas, ketahanan impak, menyerap getaran dan keuletan yang tinggi[3].

Perkembangan industri magnesium yang pesat telah memberikan sumbangan yang besar terhadap industri manufaktur komponen otomotif dalam rangka mengurangi berat kendaraan, biaya dan kompleksitas komponen. Telah dikembangkan aplikasi paduan magnesium untuk pembuatan komponen kendaraan dengan menggunakan proses die casting yaitu antara lain membuat drive brackets, oil pan, steering column brackets, 4-wheel drive transfer case, manual transmission case, induction cover, clutch pedal, brake pedal, steering column brackets, crankcase, chain housing, steering box, rear-link arms, subframe.

Ini dapat digunakan karena rasio kekuatan terhadap berat dan keuletannya yang tinggi serta dikombinasikan dengan kemampuannya dalam penyerapan energi[4].

Proses pemaduan atau penambahan unsur-unsur padu akan meningkatkan sifat-sifat mekanik dan diharapkan tidak menurunkan sifat dasarnya yaitu ringan. Berbagai unsur padu dan senyawa penghalus butir seperti Al, Mn, Zn, Si, Y, Ca, Zr, TiB₂, MgCO₃, CaCO₃, SiC, Al₂O₃, TiC, ZnO dan lain-lain digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik paduan magnesium[5,6,7,8,9,10,11].

Selain dengan penambahan unsur padu atau senyawa penghalus butir, peningkatan sifat mekanik paduan magnesium dapat pula ditingkatkan dengan memilih proses manufaktur yang akan digunakan untuk membuat suatu komponen tertentu di mana dipersyaratkan sifat mekanik tertentu yang lebih unggul. Berbagai proses manufaktur umumnya digunakan sebagai bagian dari proses pembuatan komponen.

Produk komponen otomotif relatif mempunyai bentuk yang kompleks atau rumit, sehingga proses pengecoran menjadi pilihannya. Di dalam proses pengecoran sendiri, terdapat berbagai jenis proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan komponen. Kriteria dan fungsi komponen menjadi perhatian penting dalam memilih proses pembuatan. Salahsatu proses pengecoran yang menjadi pilihan adalah *thixoforming*[12]. Proses *thixoforming* merupakan salahsatu proses yang dapat menjadi pilihan karena memiliki berbagai keunggulan jika dibandingkan dengan jenis proses pengecoran lainnya. Prinsip dasar dari proses *thixoforming* adalah proses peleburan untuk membuat paduan Mg-Al-Zn. Selanjutnya setelah logam cair memiliki komposisi yang diinginkan dan homogen kemudian dilakukan proses pendinginan. Berikutnya dilakukan proses pemanasan hingga temperatur padat-cair (*semi-solid*) (470-595°C), kemudian dimasukkan ke dalam kontainer (ruang injeksi) untuk didorong masuk ke rongga cetakan dengan kecepatan dan tekanan injeksi tertentu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan senyawa TiO₂ dalam rentang tertentu yang berbentuk partikel nano pada paduan Mg-Al-Zn terhadap kekerasan dan struktur mikro hasil proses *thixoforming*.

MATERIAL DAN METODE

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah logam murni magnesium (Mg), aluminium (Al) dan seng (Zn). Untuk mendapatkan paduan magnesium Mg-Al-Zn, maka paduan magnesium yang dibuat memiliki komposisi 90% magnesium, 9% aluminium dan 1% seng. Setelah dihasilkan paduan magnesium 90Mg-9Al-1Zn, selanjutnya ditambahkan partikel nano TiO₂ berukuran ± 50 nm dengan variasi penambahan 2%, 4% dan 6% berat TiO₂.

Metode

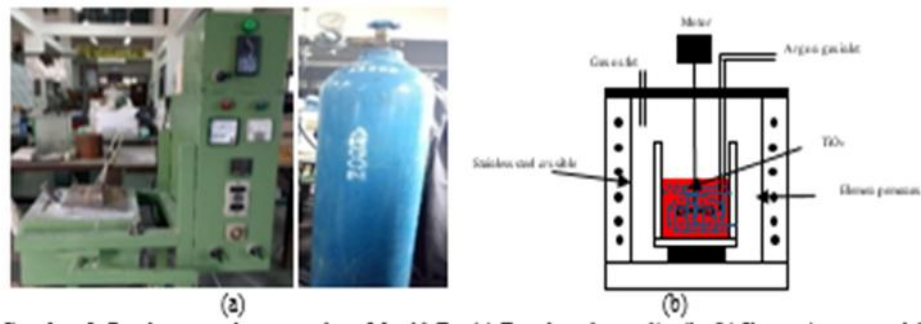
Pembuatan paduan Mg-Al-Zn dilakukan dengan menggunakan tungku tahanan listrik (*electric resistance furnace*) sebanyak 1kg dengan komposisi 90% Mg, 9% Al dan 1% Zn. Temperatur pencairan ditetapkan 720°C. Untuk menghindari terjadinya oksidasi, maka dialirkan gas Argon selama proses peleburan. Pengadukan selama 30 detik dilakukan untuk menghomogenkan logam cair. Berikutnya dituangkan ke dalam cetakan logam yang berukuran $\varnothing 20 \times 200$ mm untuk menjadi bakalan (*as-cast*) proses *thixoforming*. Sampel kemudian dipotong menjadi ukuran $\varnothing 20 \times 35$ mm. Selanjutnya sampel yang telah dipotong dimasukkan ke dalam kontainer mesin *thixoforming* dan dipanaskan kembali pada temperatur yang telah ditetapkan 530°C. Kemudian ditahan selama 10 menit agar sampel memiliki temperatur yang seragam dipermukaan dan bagian tengah, selanjutnya dilakukan proses *thixoforming* (sampel diinjeksi ke dalam rongga cetakan dengan mesin yang berkapasitas 200kN). Sampel bakalan (*as-cast*) dan hasil *thixoforming* dikarakterisasi menggunakan mikroskop metalurgi untuk mengamati perubahan struktur mikro, pengujian kekerasan metode kekerasan *micro-Vickers*, pengukuran besar butir dengan metode Jeffries dan pemeriksaan SEM/EDS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Paduan Mg-Al-Zn

Peleburan dan pemaduan menggunakan tungku tahanan listrik seperti ditunjukkan pada gambar 1. Dari hasil peleburan diperoleh bakalan *as-cast* berukuran $\varnothing 20 \times 200$ mm seperti ditunjukkan pada gambar 2. Selanjutnya bakalan tersebut dipotong menjadi berukuran $\varnothing 20 \times 35$ mm seperti ditunjukkan pada gambar 3. Bakalan dimasukkan dalam kontainer dan dipanaskan kembali sampai temperatur semi-solid 530°C. Setelah temperatur semi-solid tercapai, dilanjutkan dengan penekanan oleh mesin *thixoforming*. Mesin *thixoforming* dan tungku pemanas diperlihatkan pada Gambar 4.

8 November 2017



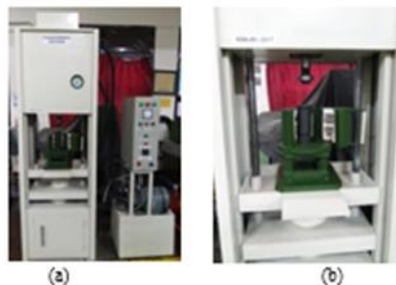
Gambar 1. Peralatan pembuatan paduan Mg-Al-Zn. (a) Tungku tahanan listrik, (b) Ilustrasi proses peleburan dan pemaduan.



Gambar 2. (a) Cetakan logam untuk pembuatan sampel as-cast; (b) Sampel *as-cast* paduan Mg-Al-Zn + partikel nano TiO_2 hasil pengecoran.



Gambar 3. Sampel *as-cast* paduan Mg-Al-Zn + partikel nano TiO_2 berukuran $\text{Ø}20 \times 35 \text{mm}$.



Gambar 4. (a) Mesin *Thixoforming*, (b) Tungku pemanas dan kontainer.

8 November 2017



Gambar 5. (a) Perbandingan bakalan dan hasil *thixoforming*, (b) Hasil *thixoforming*.

Karakterisasi

Pemeriksaan Komposisi Kimia

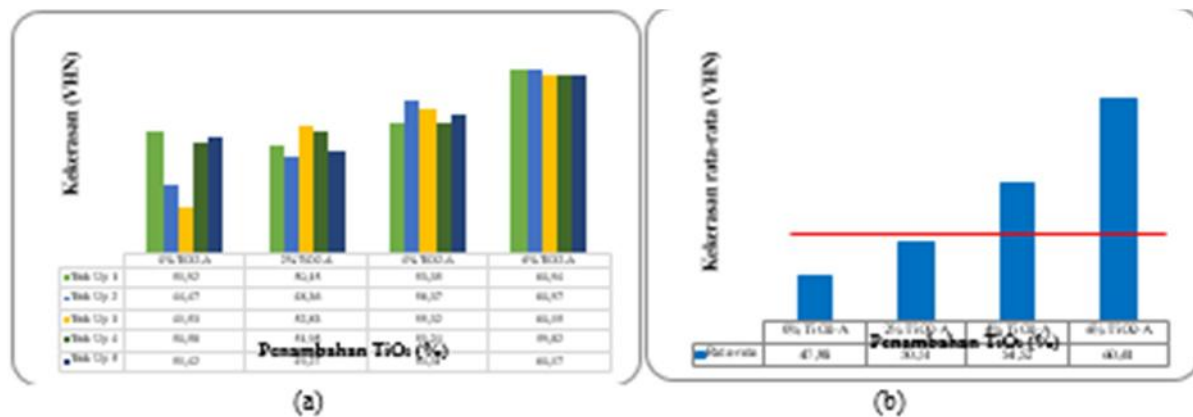
Pemeriksaan komposisi kimia paduan Mg-Al-Zn dilakukan dengan menggunakan metoda *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Varian Techtron AA40 dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan komposisi kimia *As-cast* paduan Mg-Al-Zn.

Unsur	Magnesium (Mg)	Aluminium (Al)	Seng (Zn)
% berat	88,75	9,49	1,2

Pengujian Kekerasan

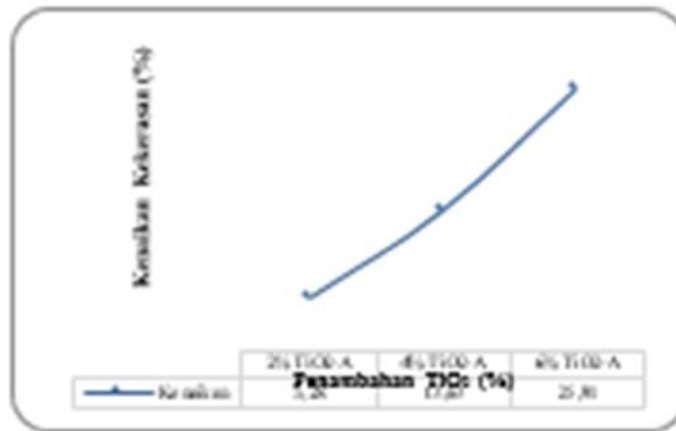
Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui harga kekerasan dari material Mg-Al-Zn, serta membandingkan hasil kekerasan *as-cast* dengan kekerasan setelah proses *thixoforming*. Pengujian kekerasan menggunakan uji keras *Micro-Vickers* METKON Duroline M *Micro Hardness Tester* dengan beban 100 gram dan indentor intan piramid 136°. Hasil pengujian kekerasan dan perbandingannya ditunjukkan pada gambar 6 sampai Gambar 10.



Gambar 6. Harga kekerasan *as-cast*, (a) Perbandingan kekerasan antara tanpa dan dengan TiO₂,

(b) Perbandingan harga kekerasan rata-rata tanpa dan dengan TiO₂.

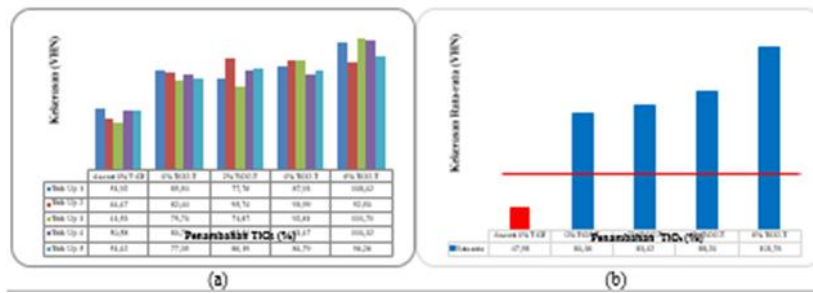
8 November 2017



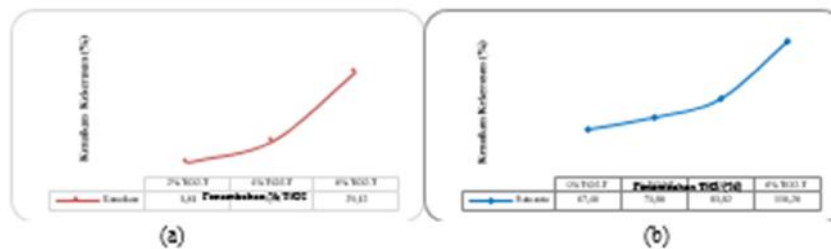
Gambar 7. Grafik persentase peningkatan kekerasan *as-cast* dengan variasi TiO₂.

Peningkatan sifat mekanik yang diamati yaitu berhubungan dengan harga kekerasan. Dari grafik harga kekerasan *as-cast* pada Gambar 6.a. dapat dilihat bahwa *as-cast* yang ditambahkan partikel nano TiO₂ memiliki kekerasan rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan *as-cast* tanpa paduan yang hanya memiliki kekerasan 47,98 VHN, maka dengan semakin banyak penambahan partikel nano TiO₂ juga akan menghasilkan harga kekerasan rata-rata semakin tinggi. Adapun harga kekerasan paling tinggi terdapat pada sampel paduan 6% TiO₂ dengan kekerasan mencapai 60,41 VHN. Dilihat dari data hasil pengujian kekerasan pada gambar 6.b., maka terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya kandungan partikel nano TiO₂ nilai kekerasannya semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan adanya efek penambahan partikel TiO₂ yang menyebabkan penghalusan butir pada paduan tersebut. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa harga kekerasan *as-cast* dengan persentase kenaikan yang terbesar diperoleh pada paduan 6% TiO₂ yaitu 25,91%.

Selanjutnya berkaitan dengan hasil proses *thixoforming*, dari Gambar 8.a. dan 8.b. ditunjukkan adanya peningkatan kekerasan yang signifikan. Kekerasan rata-rata paling tinggi terdapat pada sampel paduan 6% TiO₂ dengan kekerasan mencapai 111,71 VHN dan kekerasan rata-rata mencapai 103,76 VHN. Jika dibandingkan dengan paduan tanpa ditambahkan TiO₂ yang juga dilakukan proses *thixoforming* terlihat adanya peningkatan kekerasan dengan persentase kenaikan rata-rata hasil *thixoforming* yang terbesar yaitu pada paduan 6% TiO₂ dengan nilai persentase kenaikan yaitu 29,12% (Gambar 9.a) dan jika dibandingkan dengan *as-cast* tanpa TiO₂, persentase kenaikan kekerasan sangat signifikan terjadi pada 6% TiO₂ yaitu sebesar 116,26%.

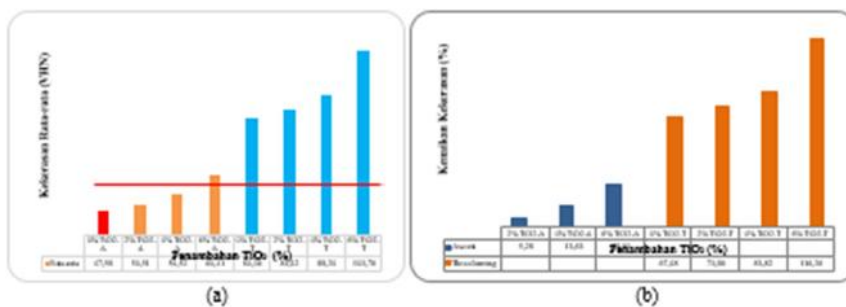


Gambar 8. Harga kekerasan hasil proses *thixoforming*, (a) Perbandingan kekerasan antara tanpa dan dengan TiO₂, (b) Perbandingan harga kekerasan rata-rata tanpa dan dengan TiO₂.



Gambar 9. (a) Grafik persentase peningkatan kekerasan hasil *thixoforming* terhadap hasil *thixoforming* tanpa TiO₂, (b) Grafik persentase peningkatan kekerasan hasil *thixoforming* terhadap terhadap *as-cast* tanpa TiO₂.

Pada Gambar 10.a. dan 10.b. ditunjukkan bahwa perbandingan kekerasan rata-rata proses *thixoforming* terhadap *as-cast* dengan yang tanpa dan dengan variasi kandungan partikel nano TiO₂ terlihat jelas penambahan kandungan TiO₂ dan proses *thixoforming* dapat meningkatkan kekerasan paduan magnesium. Pada saat dilakukan injeksi pada temperatur *semi-solid* menyebabkan butir dendritik terpecah dan mengecil akibat adanya gaya dari luar sehingga peningkatan kekerasan pun semakin tinggi.



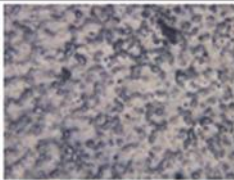
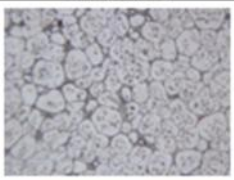
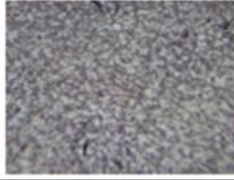
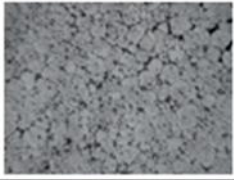

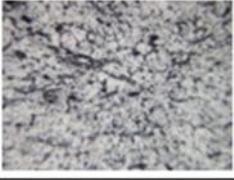


Gambar 10. Perbandingan antara *as-cast* dan *thixoforming* dengan variasi TiO₂, (a) Kenaikan kekerasan rata-rata, (b) Persentase kenaikan kekerasan rata-rata.

8 November 2017

Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan metalografi dengan mikroskop metalurgi Olympus BX-60M dilakukan pada sampel *as-cast* dan hasil *thixoforming* untuk mengetahui perbedaan struktur mikronya. Sampel dietsa menggunakan Nital 3%, foto struktur mikro dengan pembesaran 100X. Hasil pemeriksaan metalografi pada *as-cast* dan proses *thixoforming* ditunjukkan pada Tabel 2.

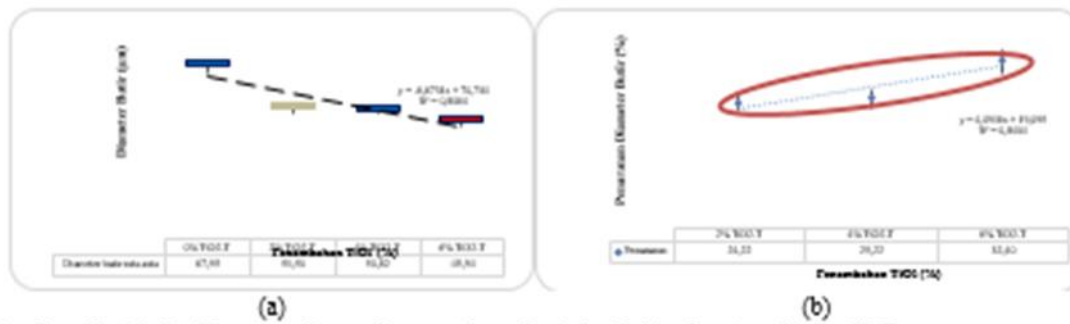
TABEL 2. Perbandingan struktur mikro *as-cast* dan *thixoforming*.

% TiO ₂	<i>As-cast</i>	<i>Thixoforming</i>
0%		
2%		
4%		
6%		

Pemeriksaan struktur mikro yang ditunjukkan pada Tabel 2, memperlihatkan bahwa spesimen memiliki struktur yang homogen dengan pembentukan dispersi yang seragam yaitu fasa α -Mg (putih) dalam matriks eutektik. Struktur eutektik terbentuk dari pengkasaran butir α -Mg. Pada daerah pembekuan kedua, didapat fasa α_1 -Mg dan β -Mg₁₇Al₁₂. Fenomena ini terjadi ketika *as-cast* dipanaskan pada keadaan *semi-solid* terbentuk fasa α -Mg + cair. Kemudian saat injeksi, ukuran partikel fasa padat α -Mg terdekomposisi dari tidak beraturan menjadi bulat (*globular*), sedangkan fasa cair berubah menjadi padatan α_1 -Mg dan β -Mg₁₇Al₁₂.

8 November 2017

Adapun pada material hasil *as-cast* terlihat bahwa semakin banyak kandungan partikel nano TiO_2 dalam paduan Mg-Al-Zn mengakibatkan dendrit yang terbentuk semakin kecil. Apabila dendrit yang terbentuk semakin kecil, maka dengan adanya gerakan *plunger* menekan bakalan akan mengakibatkan terbentuknya butir globular yang halus sehingga harga kekerasan pada proses *thixoforming* meningkat. Perhitungan ukuran butir dengan menggunakan metode *Jeffries* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. (a) Grafik perbandingan diameter besar butir hasil *thixoforming*, (b) Grafik Persentase penurunan diameter besar butir pada *thixoforming*.

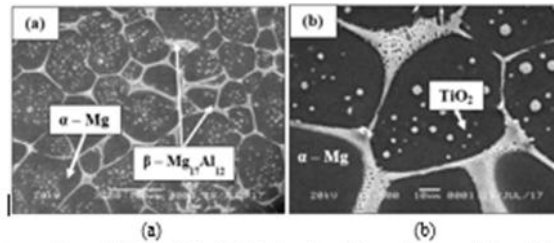
Besar butir rata-rata menunjukkan terjadinya penghalusan butir pada paduan Mg-Al-Zn + partikel nano TiO_2 hasil proses *thixoforming*. Semakin banyak persentase penambahan partikel nano TiO_2 yang tersebar dibatas butir menghasilkan besar butir semakin mengecil dan setelah dilakukan proses *thixoforming* diameter butirnya menjadi lebih kecil. Ini terjadi akibat adanya gaya deformasi pada paduan di temperatur operasi *semi-solid*, yang mengakibatkan butir dendrit terpecah menjadi bentuk globular yang lebih kecil (halus).

Apabila dikaitkan dengan peningkatan kekerasan terhadap penghalusan butir ini memiliki kolerasi yang sesuai, yang dapat dilihat pada gambar 11 yang menggambarkan grafik yang terlihat bahwa semakin meningkatnya kekerasan, maka diameter besar butir ini mengalami penurunan. Jika dibandingkan dengan sampel *thixoforming* tanpa TiO_2 , penurunan diameter besar butir paling tinggi terjadi pada penambahan 6% TiO_2 yaitu 45,94 μm atau terjadi penurunan ukuran butir sebesar 32,40%.

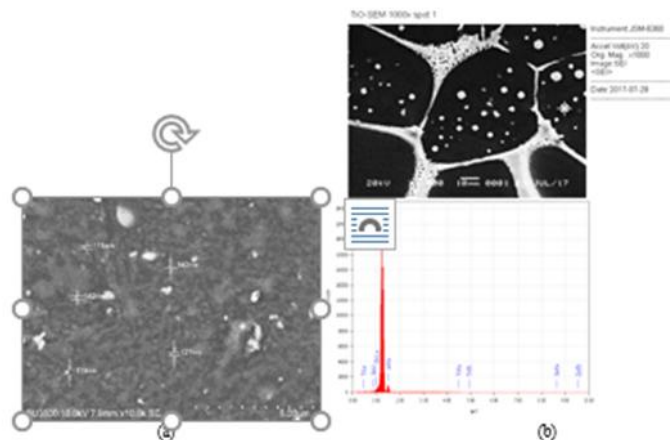
Pemeriksaan SEM/EDS

8 November 2017

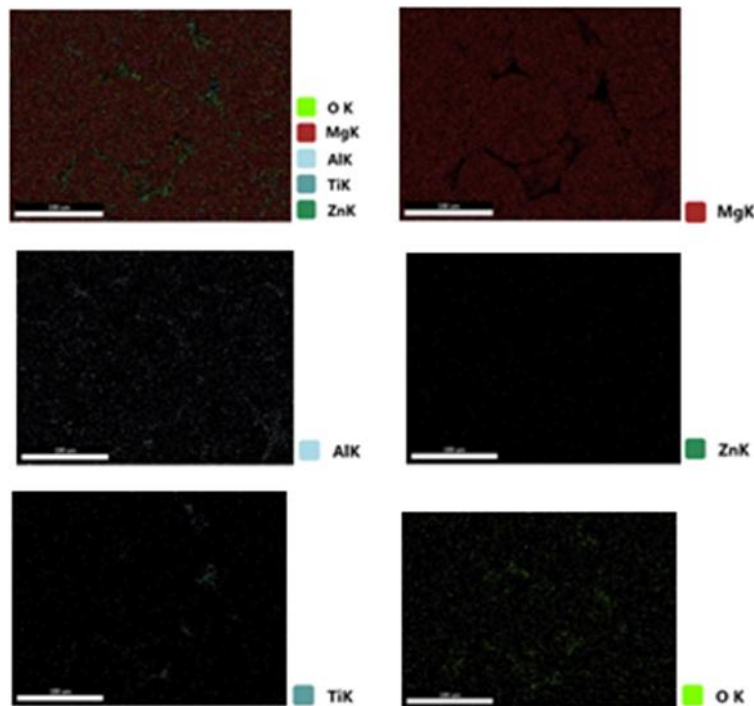
Pemeriksaan selanjutnya dihubungkan dengan hasil pemeriksaan SEM/EDS yang dilakukan pada sampel dari hasil *thixoforming* dengan penambahan 6% partikel nano TiO₂. Terlihat distribusi partikel nano TiO₂ tersebar merata di dalam butir α -Mg (berwarna hitam), sedangkan pada batas butir terdapat senyawa intermetalik β -Mg₁₇Al₁₂. Hasil pemeriksaan SEM/EDS JEOL tipe JSM-6360LA ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Hasil pemeriksaan SEM pada hasil *Thixoforming* 6% partikel nano TiO₂, (a) Pembesaran 250X, (b) Pembesaran 1000X.



Gambar 13. (a) Pengukuran partikel nano TiO₂, (b) Spektrum hasil pemeriksaan EDS pada hasil *Thixoforming* 6% partikel nano TiO₂.



Gambar 14. Hasil EDS Mapping.

Hasil pemetaan dengan menggunakan EDS Mapping pada gambar 14 menunjukkan unsur-unsur yang terdapat pada sampel menunjukkan kesesuaian dengan komposisi paduan yang dibuat pada saat proses peleburan.

KESIMPULAN

1. Proses *thixoforming* dan penambahan partikel nano TiO_2 meningkatkan kekerasan paduan Mg-Al-Zn.
2. Paduan magnesium *as-cast* memiliki harga kekerasan maksimum terdapat pada 6% TiO_2 sebesar 60,41 VHN atau meningkat 25,91%.
3. Hasil proses *thixoforming* dengan penambahan 6% TiO_2 memiliki kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 103,76 VHN atau meningkat 116,26% terhadap *as-cast* tanpa TiO_2 .
4. Penurunan ukuran butir tertinggi terjadi pada 6% TiO_2 sebesar 32,40%.
5. Struktur mikro yang terbentuk pada sampel *as-cast* menghasilkan struktur dendritik yang halus, sedangkan pada *thixoforming* menghasilkan struktur butir globular yang terdiri dari fasa $\alpha\text{-Mg}$, $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ dan tersebarnya partikel nano TiO_2 di dalam butir $\alpha\text{-Mg}$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua LPPM, Dekan Fakultas Teknik, Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Achmad Yani terkait dengan dukungan finansial untuk penelitian ini yang tercantum pada SKEP dengan Nomor: 203/UNJANI/IX/2017.

REFERENSI

1. Y. Kojima, Project of Platform Science and Technology for Advanced Magnesium Alloys, *Materials Transactions*, the Japan Institute of Metals, 42, 7, (2001), pp. 1154-1159.
2. J. Mutua, M. Kihui, G.O. Rading, and J.K. Kimotho, Use of Magnesium Alloys In Optimizing the Weight of Automobile: Current Trends and Opportunities, *Sustainable Research and Innovation Proceedings*, Vol. 3, ISSN: 2079-6226, (2011).
3. H. Watarai, Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Material in Motor Vehicles, *Science and Technology Trends*, quarterly review, 18, (2006).
4. A.U. Lou, Magnesium Front End Research and Development (MFERD) Project ID LM008, USAMP, (2012).
5. T.J. Chen, X.D. Jiang, Y. Ma, R.Q. Waning, and Y. Hao, Grain Refinement of AZ91D Magnesium Alloy by $MgCO_3$, *Materials Research* 14, (2011), pp. 124-133.
6. H.M. Fu, D. Qiu, M.X. Zhang, H. Wang, P.M. Kelly, and J.A. Taylor, The Development of a New Grain Refiner for Magnesium Alloys using the Edge-to-edge Model, *Journal of Alloys and Compounds* 456, (2011), pp. 390-394.
7. K. Lee, *A Study on Grain Refinement of AZ91E Magnesium Alloy with Al-5TiB₂, Al-Al₄C₃ and ZnO Additions*, Master Thesis, Ryerson University, Canada, (2008).
8. M. Paramsothy, J. Chan, R. Kwok, and M. Gupta, Al₂O₃ Nanoparticle Addition to Commercial Magnesium Alloys: Multiple Beneficial Effects. *J. Nanomaterials*, ISSN 2079-4991, (2012).
9. M. Paramsothy, J. Chan, R. Kwok, and G. Gupta, TiC Nanoparticle Additions to Enhance the Mechanical Response of Hybrid Magnesium Alloy, *Journal of Nanotechnology*, Article ID 401574, Hindawi Publishing Corporation, (2012).
10. S.K. Saha, *A Study of Grain Refinement of AZ91E and Mg-9 % berat Al Alloys using Zinc Oxide*, (2014), Master Thesis, Ryerson University, Canada.
11. Kusharjanto, S. Soepriyanto, A.A. Korda, S.A. Dwiwanto, Effect of ZnO Nano particles on Grain Refinement of Magnesium Alloy AZ91D by Thixoforming Process, *The 6th International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) Proceeding*, (2016).
12. Kusharjanto, Sutarno dan R.H. Mulyani, Pengaruh Temperatur Proses Semi-solid Casting pada Paduan Magnesium AZ91D terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro, *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS)*, (2016).

Analisa Sifat Termal Komposit Epoksi Berpengisi Nanopartikel Sn-3,5 Ag Dengan Perlakuan Waktu Sonikasi

Dwiyanti Yanyan, & Partuti Tri

¹Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.

ABSTRACT

Thermal analysis with DSC for composite epoxy resin and nanoparticle Sn-3.5Ag as filler has been done, which temperature curing process at room temperature and variation time of sonication 30, 45 and 60 minutes. The composite synthesis was carried out by printing a mixture of epoxy resin and hardener which has been sonicated to a 17 mm x 2 mm glass mold and allowed to stand for 24 hours at room temperature. Composite sample with Sn-3.5Ag nanoparticle filler compared with pristine epoxy without filler. DSC test results include T_g , T_c , T_m , T_{curing} and T_d . The values of T_g , T_c , T_m , T_{curing} and T_d decreased compared with pristine epoxy. T_g , T_c , T_m , T_{curing} and T_d for pristine epoxy were 47.82 °C; 62.36 °C; (-); 196.74 °C and 362.48 °C. For variation of sonication time, T_g between 34.25-35.58 °C, T_c between 58.20-60.17 °C, T_m between 224.54-227.24 °C, T_{curing} between 168.48-199.25 °C and T_d between 332.44-335.10 °C. This indicates that sonication time does not influence the thermal properties of epoxy resin compositions filled with Sn-3,5Ag nanoparticles.

PENDAHULUAN

Teknologi pembuatan komposit telah berkembang secara pesat karena material komposit mampu menggabungkan beberapa sifat material yang berbeda karakteristiknya menjadi sifat yang baru dan sesuai dengan desain yang diinginkan (Gibson, 2000). Komposit terdiri atas dua bagian yaitu berdasarkan penguatnya dan matriknya atau resin. Salah satu penguat pada komposit yang sedang banyak dikembangkan adalah dalam bentuk nanopartikel, karena ukurannya yang kecil memiliki nilai perbandingan antara luas permukaan dan volume yang lebih besar jika dibandingkan dengan partikel sejenis dalam ukuran besar, dan membuat nanopartikel bersifat lebih reaktif karena terdapatnya atom-atom di permukaan yang bersentuhan langsung dengan partikel lain. Adanya perubahan rasio jumlah atom yang menempati permukaan terhadap jumlah total atom dapat mempengaruhi perubahan titik didih, titik beku dan reaktivitas kimia.

Perubahan-perubahan tersebut merupakan keunggulan nanopartikel dibandingkan dengan partikel sejenis dalam keadaan bulk (Abdullah, dkk., 2008).

Material komposit akan bersinergi dalam sifat fisis dan mekanik bila memiliki sebuah sistem yang mempersatukan material-material penunjang untuk mencapai sebuah sifat material yang baru. Aspek penting yang menunjukkan karakteristik dari komposit tersebut adalah optimasi dari ikatan antar muka filler dan matrik, di mana antara keduanya tidak terjadi reaksi kimia dan tidak larut satu sama lain (Hull, 2006). Penggunaan gelombang ultrasonik (sonikasi) dalam pembentukan material berukuran nano sangatlah efektif. Salah satu yang terpenting dari aplikasi gelombang ultrasonik adalah pemanfaatannya dalam menimbulkan efek kavitasi akustik, yaitu proses pecahnya gelembung pada fluida akibat penurunan tekanan secara tiba-tiba dalam suhu konstan (Suslick, 1999). Interaksi gelombang ultrasonik dengan molekul-molekul terjadi melalui media cairan. Pada saat gelombang ultrasonik melalui medium sebagai gelombang, dapat meningkatkan terjadinya reaksi. Hal ini disebabkan terbentuknya ion dan partikel yang teraktivasi akibat pemberian gelombang ultrasonik yang kemudian terperangkap dalam gelembung. Metoda ultrasonikasi memanfaatkan efek kavitasi yang terjadi ketika gelombang ultrasonik merambat di dalam cairan. Sonikasi pada cairan memiliki berbagai parameter, seperti frekuensi, tekanan, temperatur, viskositas, dan konsentrasi (Nakahira, 2007). Efek ultrasonik pada polimer adalah pemutusan dan pembentukan ikatan, sehingga memungkinkan terjadi perubahan struktur. Pada proses sonikasi terjadi siklus perendaman gelombang di mana terjadi penurunan energi mekanik terhadap waktu dan resonansi. Hal inilah yang menyebabkan nanopartikel yang terkungkung di dalamnya dapat juga terpisah satu sama lain sehingga didapatkan nanosfer dengan ukuran kecil (Schramm, 2000). Keuntungan menggunakan metode sonikasi menurut Iva (2015) antara lain berubahnya struktur pelarut dengan mengubah solvasi reaktan, sonolisis molekul (misalnya: pecahnya ikatan polimer), efek mekanik (misalnya: perpindahan massa yang cepat dan pengurangan ukuran partikel). Ukuran partikel yang dihasilkan dengan cara sonikasi dipengaruhi oleh suhu dan durasi proses sonikasi (Dua, et al., 2012). Ukuran nanopartikel semakin homogen dan penggumpalan semakin berkurang seiring dengan perlakuan bertambahnya waktu sonikasi untuk material komposit nanopartikel magnetik (Delmifiana, dkk., 2013).

Penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat termal, ada batas tertentu saat dilakukan penambahan, sifat termal justru makin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat termal, mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya (Hadiyawarman, 2008). Sifat termal suatu material merupakan salah satu sifat yang cukup penting agar material dapat dimanfaatkan secara optimal. Analisis termal dapat diidentifikasi sebagai pengukuran sifat fisik bahan yang merupakan fungsi dari suhu. Analisis ini dapat menentukan sifat spesifik seperti entalpi, kapasitas kalor, dan koefisien termal bahan. Salah satu teknik untuk analisis termal adalah *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*. Salah satu sifat termal yang didapatkan dari penelitian Thai, et. al., (2010) untuk solder nanopartikel Sn-3.5Ag adalah temperatur leleh (T_m) yang lebih rendah yaitu 487 K (214 °C).

Penelitian tentang sifat termal temperatur gelas (T_g) yang mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase pengisi nanopartikel FeNi 0,01%; 0,1%; 1%; 2% dan 10% dengan adanya proses mixing dan lama waktu sonikasi pada proses sintesis nanokomposit telah dilakukan oleh Satrio (2013). Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit epoksi resin berpengisi nanopartikel Sn-3.5Ag dengan variasi waktu sonikasi untuk mengetahui sifat termal material komposit menggunakan instrumen DSC.

MATERIAL DAN METODE

Material

Alat-alat yang digunakan adalah *magnetic stirrer*, termometer, spatula, *beaker glass*, kuas, neraca analitis, pipet tetes, *aluminium foil*, *sonicator*, *Differential Scanning Calorimeter (DSC)*. Bahan – bahan yang digunakan epoksi resin, *hardener*, nanopartikel Sn-3.5Ag, *wax mold release*, kaca, air, es batu.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan dua tahap, yaitu mensintesis pristin epoksi dan sintesis komposit nanopartikel Sn-3.5Ag sebagai pengisi dengan epoksi resin sebagai matriksnya. Langkah-langkah membuat pristin epoksi sebagai standar tanpa pengisi dilakukan dengan :

8 November 2017

- a. Mencampurkan epoksi resin dan hardener dengan perbandingan 2 : 1 ke dalam gelas beker dan diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 5 menit.
- b. Menutup gelas beker dengan *aluminium foil* dan di rendam dalam wadah berisi es batu.
- c. Melakukan sonikasi selama 30 menit.
- d. Mencetak campuran epoksi resin dan *hardener* yang telah di sonikasi ke cetakan kaca ukuran 17 mm x 2 mm dan didiamkan selama 24 jam pada temperatur kamar, selanjutnya mengambil hasil cetakan untuk pengujian.

Material komposit berpengisi nanopartikel 5 wt% Sn-3.5 Ag dan epoksi sebagai matriks dibuat dengan cara :

- a. Mencampurkan epoksi resin dan nanopartikel Sn-3.5 Ag ke dalam gelas beker dan diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 6 jam.
- b. Menambahkan hardener ke dalam campuran komposit dan diaduk selama 5 menit.
- c. Menutup gelas beker dengan *aluminium foil* dan di rendam dalam wadah berisi es batu.
- d. Melakukan sonikasi selama 30, 45 dan 60 menit.
- e. Mencetak komposit ke cetakan kaca dan didiamkan selama 24 jam pada temperatur kamar, selanjutnya mengambil hasil cetakan untuk pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat termal yang diperoleh dari hasil pengujian DSC meliputi temperatur gelas (T_g), temperatur kristalisasi (T_c), temperatur leleh (T_m), temperatur *curing* (T_{curing}) dan temperatur degradasi (T_d). Temperatur gelas (T_g) adalah suhu pada saat polimer berubah dari bersifat kaca menjadi seperti karet. Temperatur kristalisasi (T_c) yaitu pada saat molekul polimer mulai menyusun diri membentuk suatu susunan yang teratur. Titik leleh (T_m), yaitu saat polimer berwujud cairan. Temperatur *curing* (T_{curing}) yaitu saat polimer mengalami proses *curing* secara sempurna. Temperatur dekomposisi atau degradasi (T_d) yaitu saat polimer mulai rusak. Proses *curing* dilakukan pada temperatur kamar dengan variasi sonikasi 30, 45 dan 60 menit.

Data kurva DSC (Gambar 1) yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* yang memplot kurva sehingga membentuk *baseline* dan secara otomatis mencari *peak* pada kurva tersebut sehingga data hasil pengolahan dapat dibaca lebih jelas (Tabel 1).

Proses *curing* merupakan reaksi kimia yang terjadi pada gugus epoksi dengan *curing agent* (*hardener*) untuk membentuk padatan dengan *crosslinking* tiga dimensi. Proses *curing* pada epoksi resin dan *hardener* ditunjukkan pada Gambar 2. Resin epoksi dan *hardener* yang dicampur dengan menambahkan katalis dan pemanasan menyebabkan resin dan *hardener* bereaksi dengan melepaskan sejumlah panas (reaksi eksoterm) dan dapat mempengaruhi kecepatan reaksi. Pembentukan rantai linier antara resin dan *hardener* secara visual terlihat bahwa campuran berbentuk cair namun viskos, dan viskositas akan bertambah dengan cepat. Rantai polimer linier selanjutnya mengalami proses *cross-link* untuk membentuk sistem terpolimerisasi dengan berat molekul tinggi. Pada tahapan ini, campuran akan berubah dari cairan kental menjadi *solid gel*.

Tabel 1. Plotting kurva DSC setelah *baseline* dan *peak finder*

Waktu Sonikasi	T_g , °C	T_c , °C	T_m , °C	T_{cryst} , °C	T_d , °C
Pristin epoksi	47,82	62,36	-	196,74	362,48
30 menit	35,58	60,17	226,31	179,95	335,01

Hasil Karakterisasi Waktu Sonikasi terhadap Temperatur Gelas (T_g)

Ketika proses *curing* dilakukan pada temperatur yang rendah maka akan memiliki nilai T_g yang rendah, demikian juga sebaliknya. Waktu sonikasi berpengaruh terhadap proses dispersi pengisi nanopartikel Sn-3.5Ag. Bertambahnya waktu sonikasi menurut Delmifiana, dkk. (2013) menyebabkan ukuran nanopartikel semakin homogen dan penggumpalan semakin berkurang. Penggumpalan nanopartikel dalam matriks polimer dapat mengurangi luas permukaan nanopartikel terhadap rasio volume yang menyebabkan penurunan nilai T_g (Singha, 2008), sehingga semakin lama waktu sonikasi yang dilakukan pada proses *curing* menyebabkan dispersi nanopartikel lebih merata dan akan menaikkan nilai T_g .

Pada Gambar 3 (a) terlihat adanya trend menurun pada waktu sonikasi 45 menit dan kemudian mengalami kenaikan pada waktu sonikasi 60 menit.

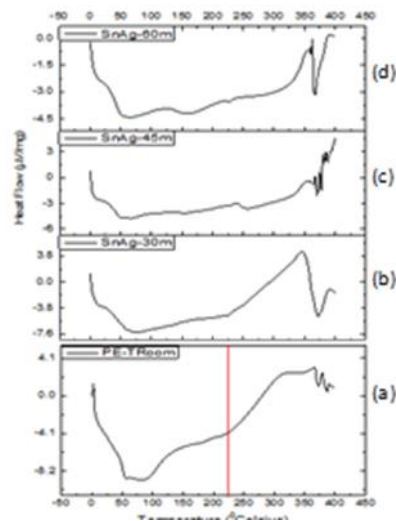
Hal ini dikarenakan konsentrasi pengisi yang digunakan pada setiap sampel sama yaitu 5 wt% nanopartikel Sn-3.5Ag, artinya pada waktu sonikasi 30 menit, nanopartikel Sn-3.5Ag sudah terdispersi secara merata sehingga ketika dilakukan waktu sonikasi 45 dan 60 menit, nilai T_g yang didapatkan dari hasil pengujian DSC tidak berbeda. Hal ini diperkuat dari hasil penelitian Suave, et. al. (2009), untuk nilai T_g dengan waktu sonikasi 40 menit lebih besar dibandingkan waktu sonikasi 20 menit, hal ini terjadi karena selain pengaruh waktu sonikasi yang diberikan juga ada pengaruh konsentrasi pengisi yang berbeda pada material yang digunakan, sehingga jika hanya dilakukan variasi waktu sonikasi saja, pengaruh terhadap nilai T_g tidak terlihat.

Hasil Karakterisasi Waktu Sonikasi terhadap Temperatur Kristalisasi (T_c)

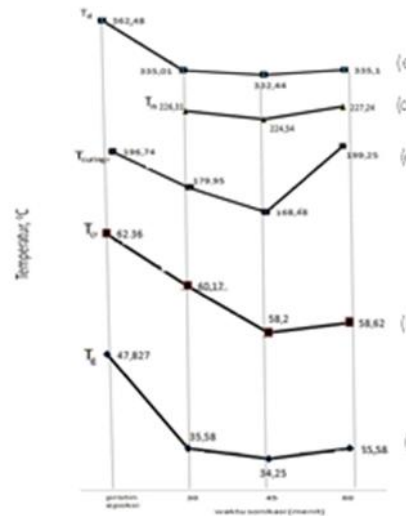
Nilai temperatur kristalisasi dengan waktu sonikasi 30 menit sebesar 60,17 °C, mengalami penurunan pada waktu sonikasi 45 menit menjadi 58,20 °C, dan mengalami kenaikan nilai T_c pada waktu sonikasi 60 menit menjadi 58,62 °C (Gambar 3 (b)). Proses sonikasi pada temperatur yang konstan dapat memberikan efek kavitas akustik, yaitu proses pecahnya gelembung pada fluida akibat penurunan tekanan secara tiba-tiba (Suslick, 1999).

Pecahnya gelembung ini mengakibatkan molekul polimer yang tadinya tersusun secara teratur (kristalin) menjadi acak (amorf) sehingga nilai T_c menurun. Schramm (2000) juga mengatakan bahwa pemberian gelombang sonikasi pada polimer dapat mengakibatkan pemutusan atau pembentukan ikatan yang memungkinkan terjadinya perubahan struktur polimer. Adanya nilai T_c pada polimer yang bersifat amorf juga mengindikasikan adanya *impurities* pada polimer tersebut. Semakin lama waktu sonikasi maka *impurities* yang memiliki partikel dengan ukuran besar akan hancur menjadi partikel yang lebih kecil dan menyebabkan *impurities* akan semakin tersebar secara merata.

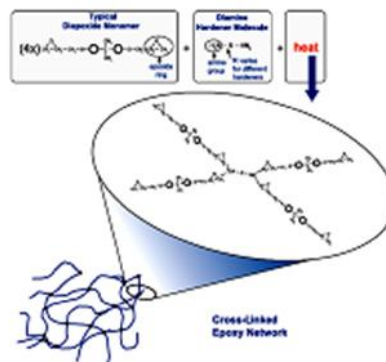
8 November 2017



Gambar 1. Kurva DSC untuk waktu sonikasi
a) pristin epoksi, b) 30 menit, c) 45 menit d)
60 menit



Gambar 3. Pengaruh temperatur termal
terhadap waktu sonikasi a) T_g , b) T_c , c) T_{curing} ,
d) T_m , e) T_d



Gambar 2. Ilustrasi proses curing antara epoksi dan hardener

Hasil Karakterisasi Waktu Sonikasi terhadap Temperatur Curing (T_{curing})

Nilai T_{curing} ini menunjukkan terjadinya *crosslink* sempurna antara epoksi dengan *hardener*. Nilai T_{curing} ini muncul karena pada saat proses *curing* yang dilakukan tidak semua epoksi dan *hardener* saling berikatan namun hanya sebagian saja. Pada Gambar 3 (c) terlihat nilai T_{curing} pada waktu sonikasi 30 menit yaitu sebesar 179,95 °C lalu mengalami penurunan nilai T_{curing} pada waktu sonikasi 45 menit menjadi sebesar 168,48 °C kemudian mengalami kenaikan nilai T_{curing} pada waktu sonikasi 60 menit menjadi sebesar 199,25 °C.

Proses sonikasi mengakibatkan terjadinya pemerataan dispersi pengisi pada komposit (Schramm, 2000) sehingga keberadaan pengisi ini akan menghambat proses *crosslink* antara epoksi dan hardener dan menyebabkan akan semakin sedikit *crosslink* yang terjadi, yang mengakibatkan nilai T_{curing} seharusnya akan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya waktu sonikasi.

Hasil Karakterisasi Waktu Sonikasi terhadap Temperatur Leleh (T_m)

Nilai T_m hanya dimiliki oleh sampel komposit berpengisi Sn-3.5Ag karena nilai T_m ini menunjukkan temperatur leleh dari nanopartikel Sn-3.5Ag bukan dari epoksi resin yang digunakan sebagai matriks. Hal ini dikarenakan polimer termoset merupakan molekul yang berikatan secara kimia dengan proses *crosslink*, membentuk keadaan rigid, struktur jaringan tiga dimensi. *Crosslink* ini terbentuk selama reaksi polimerisasi atau biasa disebut reaksi *curing*, polimer termoset tidak dapat meleleh ataupun berubah bentuk ketika diberikan panas ataupun tekanan. Data T_m ini bukan untuk menunjukkan adanya pengaruh perlakuan yang dikenai pada sampel namun hanya untuk menunjukkan keberadaan nilai T_m yang konstan pada sampel komposit berpengisi Sn-3.5Ag yang berada pada rentang antara 224-227 °C (Wilson, 2012) seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (d).

Hasil Karakterisasi Waktu Sonikasi terhadap Temperatur Degradasi (T_d)

Nilai T_d atau temperatur degradasi menunjukkan temperatur maksimal yang dapat diterima oleh suatu material. Temperatur degradasi juga berhubungan erat dengan stabilitas termal yang diukur berdasarkan reaksi dekomposisi. Stabilitas termal berhubungan erat dengan ikatan energi antara atom-atom dalam polimer, ikatan energi yang tinggi akan menghasilkan stabilitas termal yang lebih tinggi (Visakh, 2015).

Sampel yang digunakan merupakan sampel pristin epoksi yang merupakan polimer amorf dan komposit berpengisi Sn-3.5Ag yang merupakan polimer yang dicampurkan dengan *alloy nanoparticle*, sehingga tidak ada nilai T_m bagi bahan matriks tetapi terdapat nilai T_d . Nilai T_d seharusnya akan meningkat seiring dengan lamanya waktu sonikasi karena sonikasi ini berperan penting dalam dispersi pengisi nanopartikel 3.5Sn-Ag.

Sampel dengan proses *curing* pada temperatur kamar memiliki nilai T_d sebesar 335,01 °C pada waktu sonikasi 30 menit lalu pada waktu sonikasi 45 menit memiliki nilai T_d sebesar 332,44 °C kemudian pada waktu sonikasi 60 menit mengalami kenaikan nilai T_d kembali menjadi sebesar 335,10 °C (Gambar 3 (e)).

Penurunan nilai T_d ini disebabkan adanya pengaruh adanya filler pada matriks epoksi resin. Mengontrol dispersi nanopartikel dalam matriks polimer merupakan satu hal yang sangat penting dalam proses pembuatan material nanokomposit yang menghasilkan interaksi yang kuat antar partikel nano.

KESIMPULAN

Komposit epoksi resin berpengisi 5wt% Sn-3.5Ag dengan variasi waktu sonikasi selama 30, 45 dan 60 menit dengan pengujian termal menggunakan DSC menunjukkan nilai T_g , T_c , T_m , T_{curing} and T_d yang tidak jauh berbeda. Nilai T_g , T_c , T_m , T_{curing} and T_d untuk pristin epoksi berturut-turut adalah 47,82 °C; 62,36 °C; (-); 196,74 °C dan 362,48 °C. Untuk variasi waktu sonikasi, nilai T_g komposit antara 34,25-35,58 °C, T_c antara 58,20-60,17 °C, T_m antara 224,54-227,24 °C, T_{curing} antara 168,48-199,25 °C dan T_d antara 332,44-335,10 °C. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu sonikasi tidak berpengaruh terhadap sifat termal komposit epoksi resin berpengisi nanopartikel 5wt% Sn-3,5Ag.

REFERENSI

1. A. Nakahira, S. Nakamura, M. Horimoto, Synthesis of modified hydroxyapatite (HAP) substituted with Fe ion for DDS application, *Journal of IEEE Transactions on Magnetic*, 43 (6), 2465-2467. (2007).
2. Delmifiana, Betti, dan Astuti, Pengaruh Sonikasi Terhadap Struktur Dan Morfologi Nanopartikel Magnetik Yang Disintesis Dengan Metode Kopesipitasi, *Jurnal Fisika Unand* Vol. 2, No. 3 : 186-189, (2013).
3. Hadiyawardman. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1, 14-21, (2008).
4. H. Satrio, Karakterisasi Sifat Kekerasan dan Thermal dari Epoksi Nanokomposit Berpenguat Fe-Ni Nanopartikel dengan Variasi Fraksi Berat serta Waktu Sonikasi, Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Cilegon, (2013)
5. J. C. Hull, *Options, Futures, and Other Derivatives. Ed. ke-6*, New Jersey: Prentice Hall, (2006).
6. J. L. Gibson, *Organisasi, Perilaku, Struktur dan Proses. Ed. ke-5*, Jakarta, Penerbit Erlangga, 2000.
7. J.S. Dua, A.C. Rana, and A.K. Bhandari, Liposome : Methods of Preparation and Applications, *Int J Pharm*, 3, 14–20 (2012).
8. J. Suavea, L.A.F. Coelhoa, S.C. Amico, and S.H. Pezzina, *Effect of Sonication on Thermo-Mechanical Properties of Epoxy Nanocomposite with Carboxylated-SWNT*. *Material Science and Engineering A* 500, 57-62, Elsevier, 2009.
9. K. S.Suslick, G. J. Price, Application of Ultrasound to Materials Chemistry, *Journal of Ann. Rev. Matter. Sci.*, 29, 295-326 (1999).
10. L. L. Schramm, *Surfactants: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry*, New York, Cambridge University Pr., 2000.
11. M.Abdullah, Y.Virgus, dan Khairurijal, Review Sintesis Nanomaterial, *Nanosains dan Nanoteknologi*, 1, 1-25, (2008).
12. M. Iva. Analisis Pengaruh Silika Terhadap Aktivitas Fotokatalitik Nanopartikel Zinc Oxide, Jurusan Teknik Kimia ITS, (2015).

Pengaruh Variasi Filler Metal Terhadap Struktur Mikro Dan Distribusi Kekerasan Pada Proses Pengelasan Gtaw Pada Baja Karbon Rendah Dengan Baja Tahan Karat 304L

Rilwanu Lukman Amrullah^{1a)}, & Rochim Suratman^{1b)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

^{a)}rilwanulukman28@gmail.com

^{b)}rochim@material.itb.ac.id

ABSTRACT

Dissimilar welding has a wide application in industry to maintain the cost itself. However, dissimilar welding process has problems to be identified furthermore, i.e. macro segregation, unmixed composition in fusion boundary, and brittleness. In this research, dissimilar metals will be jointed with variations in filler metal as ER-316L, ER-309, and ER-308. The welding process was GTAW methods with argon as the shielding gas and single V-butt as joint design. The base metal is low carbon steel with 0,172%wt of carbon and *stainless steel* 304L (SS 304L). Next, a metallography is conducted to observe the microstructure of base metal, heat affected zone, and weld metal areas. The results shows that the microstructure of all weld metals consist -ferrite and Austenite. At the HAZ of SS 304L there is sensitization phenomena. Also, for the HAZ of low carbon steel consist a soft pearlit with a darkband in the fusion line. Then, a hardness test was conducted along the specimen. The results shows that the hardness of base metal are increasing in the HAZ compared to the base metal. This was caused by diffusion of elements and the difference in the microstructure.

PENDAHULUAN

Pengelasan logam tak sejenis (*dissimilar metal welding*) lazim dijumpai pada bidang industri otomotif, minyak dan gas, pesawat terbang, maupun pembangkit listrik, contohnya pengelasan antara baja tahan karat dan baja karbon untuk pembuatan suatu *platform*, *plant*, ataupun *piping* pada bidang industri minyak dan gas. Logam tak sejenis dipilih karena beberapa faktor, yaitu kondisi lingkungan kerja, sifat logam, dan efisiensi biaya.

Baja tahan karat memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan baja karbon, namun apabila menggunakan baja tahan karat seluruhnya untuk suatu komponen biaya yang dibutuhkan akan lebih besar karena harga baja tahan karat yang lebih tinggi. Solusi dari permasalahan tersebut adalah mengoptimalkan penggunaan material sesuai dengan kondisi lingkungan kerja sehingga dapat ditentukan posisi dan porsi penggunaan logam pada komponen dan menekan biaya konstruksi.

Meskipun penerapan pengelasan logam tak sejenis mempunyai peranan luas dalam berbagai macam bidang industri, kenyataannya pengelasan jenis ini memiliki permasalahan yang harus diteliti lebih lanjut. Diantara permasalahan yang timbul, yaitu akibat *unmixed composition* pada *fusion boundary* (1), perbedaan struktur mikro pada daerah *interface* logam yang berbeda (2), segregasi makro (2), dan senisitasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi permasalahan ini adalah komposisi logam pengisi yang digunakan.

Dalam penelitian kali ini, dilakukan pengelasan logam tak sejenis baja karbon rendah dengan baja tahan karat SS- 304L dengan metode pengelasan GTAW menggunakan variasi logam pengisi ER-316L, ER-309, dan ER-308 untuk melihat logam pengisi jenis apa yang paling cocok dan menghasilkan sifat mekanik lasan yang baik. Penggunaan logam pengisi ini didasari oleh aspek ekonomis, yaitu harga dan ketersediaan, namun tetap memiliki sifat mekanik yang baik. Pengelasan GTAW dipilih karena memiliki keunggulan mengurangi kemungkinan terjadinya oksidasi pada pengelasan. Kemudian pemilihan material logam induk didasarkan oleh aplikasi di industri yang sangat luas.

MATERIAL DAN METODE

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah plat baja karbon rendah dan baja tahan karat SS 304L yang masing-masing diperoleh dari Pasar Besi Jatayu dan supplier PT Wijaya Makmur. Komposisi kimia dari logam induk dapat diketahui dengan karakterisasi *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Kedua jenis baja tersebut kemudian akan dilas dengan variasi logam pengisi ER316L, ER309, dan ER308 yang merupakan stainless steel.

8 November 2017

Komposisi kimia dari logam pengisi diperoleh dari *technical data sheet* dari supplier KOBELCO . Komposisi kimia dari logam pengisi dan logam induk adalah:

Tabel 1. Komposisi Kimia Logam Induk.

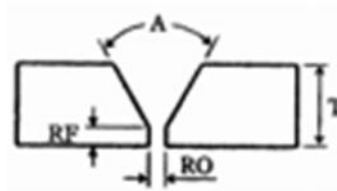
	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	Fe	Al	V
Baja	0,172	0,02	0,05	1,093	0,006	0,333	98,23	0,042	

Tabel 2. Komposisi Kimia Logam Pengisi

	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	Cu
ER 316L	0,03	20	14	2,5	3	0,65	0,11
ER 309	0,12	25	14	2,5	0,75	0,65	0,11
ER 308	0,08	22	11	2,5	0,75	0,65	0,12

Metode

Setiap plat logam induk dipotong dan diberi proses pemesian sehingga dimensinya memenuhi sketsa dan spesifikasi kambung berikut:



Gambar 1. Desain Sambungan

Tabel 3. Spesifikasi Sambungan

Jenis	V-Butt Single Joint
Groove Angle (A)	60°
Root Face (RF)	2 mm
Root Opening (RO)	2 mm
Tebal Spesimen (T)	20 mm
Panjang Spesimen	60 mm

Setelah itu, spesimen baja karbon rendah dan SS 304L disambung dengan menggunakan metode pengelasan GTAW dengan variasi filler metal. Setiap logam pengisi yang digunakan berdiameter 2.4 mm. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon 96%. Pengelasan dilakukan dengan multipass welding. Ada 15 layer dan 1 root lasan dengan rerata waktu pengelasan 50 detik, rerata arus 130A, dan voltase konstan 13,5 V.



Gambar 2. Hasil Penyambungan Spesimen

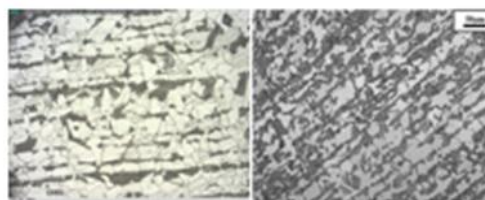
Setelah proses penyambungan selesai, spesimen dikarakterisasi dengan metalografi dan uji keras. Metalografi dilakukan dari tahap *mounting*, *grinding*, *polishing*, hingga *etching*. Etsa yang digunakan adalah nital 3% untuk mengamati struktur mikro logam induk baja karbon rendah, dan *aqua regia* untuk mengamati struktur mikro logam las dan logam induk SS 304L. Struktur mikro diamati pada daerah logam las, logam induk, dan daerah HAZ. Kemudian, spesimen juga diuji keras dengan pengujian keras microvickers. Uji keras dilakukan di beberapa titik pada satu spesimen. Indentasi dilakukan setiap 4mm dari logam induk hingga ke logam las.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metalografi

1. Logam Induk

Pertama, dilakukan pengamatan struktur mikro untuk logam induk baja karbon rendah. Dugaan awal spesimen logam induk baja karbon rendah memiliki struktur pearlite dari hasil analisis komposisi menggunakan diagram fasa Fe-C.



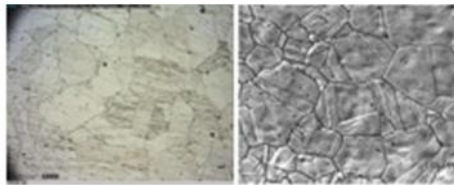
Gambar 3. (A) Struktur mikro baja yang di dapat (B) Struktur mikro AISI 1020 dari literature

(3)

8 November 2017

Jika dilihat pada Gambar 3 bagian gambar yang berwarna gelap merupakan pearlite dan bagian terang merupakan matriks ferrite. Jika diamati dengan seksama, struktur mikro yang didapat dari logam induk baja terbukti menyamai mikro struktur dari literatur yang memiliki kadar karbon yang hampir sama. Selain itu, terlihat juga orientasi pearlite seperti berjajar horizontal, ini adalah indikasi jika sebelumnya material telah mengalami proses pengerolan.

Lanjut ke logam induk SS 304L, struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 4 dengan perbandingan dari literatur. Kedua mikro struktur memiliki kemiripan meskipun digunakan etsa yang berbeda. Butir-butir besar merupakan fasa austenite yang stabil di temperatur ruang.



Gambar 4. Mikro struktur logam induk SS 304L yang didapat (kiri) mikro struktur literatur AISI 304L (4)

2. *Weld Metal*

Beranjak ke analisis struktur mikro untuk logam las, sebelum melakukan analisis dilakukan perhitungan untuk mengetahui Cr-Ekuivalen dan Ni-Ekuivalen dari setiap material yang terlibat. Hal ini dilakukan untuk memperkirakan fasa-fasa yang mungkin terbentuk saat pengelasan. Tidak hanya itu dilusi pun juga perlu dicari. Data-data diatas selanjutnya akan di plot dalam Diagram Schaeffler untuk memperkirakan fasa. Perhitungan Cr dan Ni-Ekuivalen adalah sebagai berikut:

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb$$

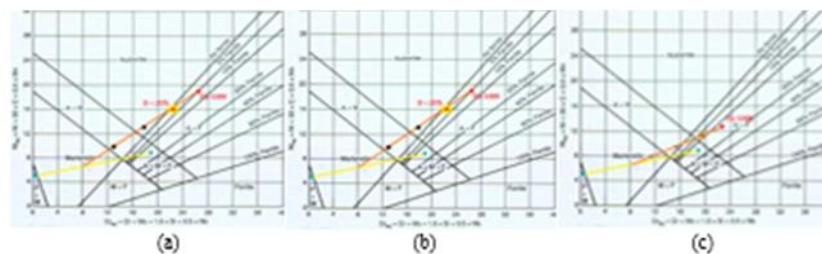
$$Ni_{eq} = \%Ni + 30x\%C + 0.5x\%Mn$$

Masing-masing material, mulai dari 2 jenis logam induk hingga logam pengisi dihitung nilai *chrom* dan *nickel* ekuivalennya, data lengkapnya perhatikan Tabel 4.

Tabel 4. Data perhitungan Cr dan Ni ekuivalen material yang dipakai

	CR-E	NI-E
TG -S316L	23,975	16,15
ER-308	23,725	14,65
ER-309	26,725	18,85
SS 304L	18,9205	9,986
Baja	0,5255	5,7565

Dilusi dari lasan diasumsikan setiap sampel persentase dilusinya sama, karna sulitnya menghitung dilusi dari multi-pass welding yang digunakan, persentase dilusi yang digunakan berdasarkan literatur (5) untuk pengelasan GTAW adalah direntang 25-30%, dalam kasus ini saya menggunakan angka 25% untuk mempermudah plot ke diagram Schaeffler. Selanjutnya, dari setiap hasil perhitungan diatas, nilai-nialinya akan diplot dalam Diagram Schaeffler.

**Gambar 5.** Plot diagram Schaeffler ketiga spesimen (a) ER 316L (b) ER 309 (c) ER 308

Dari Gambar 5 dapat dperkirakan untuk daerah lasan pada sampel A dan B akan memiliki fasa austenite dan ferrite sekitar 5%. Sedangkan untuk sampel C persentase fasa ferrite adalah kurang lebih 10%.

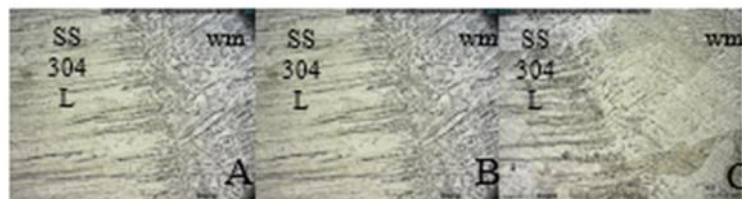
**Gambar 6.** Struktur mikro logam las

8 November 2017

Dalam penelitian ini karena material logam las yang lebih kaya unsur Cr mengakibatkan δ -ferrite adalah fasa utama yang terbentuk saat solidifikasi logam las. Inti dari δ -ferrite kaya akan Cr, baru kemudian seiring temperatur menurun dan kadar Cr disekitarnya rendah, daerah disekitar δ -ferrite akan membentuk Austenite (5). Pada sampel A dan B δ -ferrite yang berwarna gelap berbentuk vermicular atau dendritik, dan dikelilingi oleh matriks austenite. Sedangkan pada sampel C jumlah δ -ferrite lebih banyak dibanding sampel A dan B sehingga morfologi yang dihasilkan akan sedikit berbeda. Struktur dendritik yang tercipta diakibatkan oleh arah pertumbuhan butir yang berlawanan dengan arah aliran panas. Proses pembekuan yang terjadi dapat diasumsikan relatif cepat akibatnya laju pengintian butir akan semakin cepat sehingga struktur dendrit yang tercipta akan banyak dengan cabang-cabang yang kecil.

3. *Heat Affected Zone (HAZ)*

Pada Gambar 7 dapat dilihat jika di batas fusi antara logam las dan SS 304L selalu ada struktur menyerupai δ -ferrite seperti logam las. Namun, saat melakukan percobaan, dilakukan beberapa kali tahapan etsa yang menunjukkan bahwa struktur dendritik di HAZ merupakan fenomena dari sensitisasi yang terjadi akibat adanya pemanasan dan pencampuran material didaerah tersebut. Pemanasan ini selanjutnya mengakibatkan karbon berikatan dengan unsur krom menjadi karbida di batas butir, sehingga akan ada daerah *chrome depleted zone* disekitar karbida yang mempunyai ketahanan korosi yang lebih rendah. Ketahanan korosi yang rendah inilah yang diserang oleh larutan etsa, sehingga akan tampak struktur dendritik hasil fenomena sensitisasi.



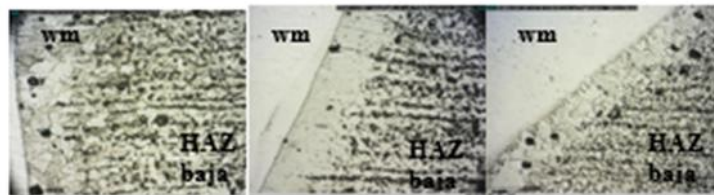
Gambar 7. HAZ SS 304L -logam las

Jika melihat fenomena ini, sensitisasi terjadi di ketiga sampel HAZ SS 304L. Sensitisasi paling parah terjadi di sampel B, Maka akan tampak daerah logam las yang sangat tegas bercak dendritik dengan warna hitam pekat seperti akibat sensitisasi.

8 November 2017

Terlepas dari penggunaan material logam induk seri L-grade, yang seharusnya hampir tidak mungkin mengalami sensitisasi karena kadar karbon yang rendah (<0,03 wt%), pada daerah dekat batas fusi *stainless steel* terjadi pencampuran material, sehingga kadar karbon pada daerah itu mengalami kenaikan sehingga memungkinkan untuk terjadinya sensitisasi. Hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut menggunakan metode karakterisasi seperti EDS untuk membuktikan kadar karbon pada daerah batas fusi dan HAZ SS 304.

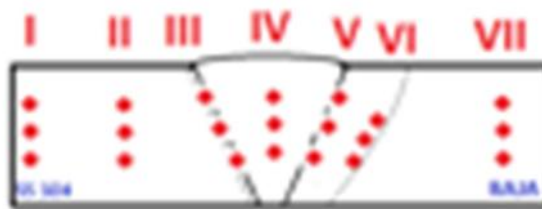
Selanjutnya analisa HAZ pada baja karbon rendah, struktur mikro yang didapat tertera pada Gambar 8. Terdapat daerah perbatasan yang disebut *fusion line*. Garis hitam yang tampak merupakan *dark band*. Logam induk memiliki kadar karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan logam las *stainless steel*. Meskipun dalam tabel komposisi karbon, terutama ER-309, hampir sama dengan logam las karena itu merupakan kandungan maksimal yang mungkin dimiliki *filler metal* asal pabrikan. Sehingga pada dasarnya perbedaan konsentrasi kandungan karbon tetap ada. Terlihat dalam seluruh struktur mikro pada Gambar 8 tampak garis hitam akibat adanya migrasi karbon.



Gambar 8. Haz baja karbon rendah

Uji Keras

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode microvickers. Titik uji yang diambil dilakukan setiap rentang 4mm sebagai berikut:



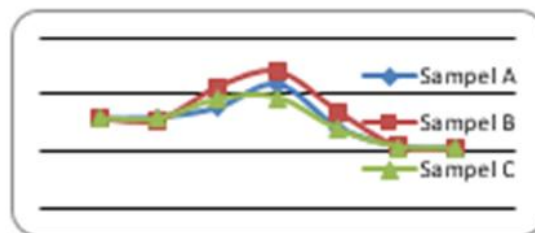
Gambar 9. Titik-titik uji yang dilakukan

8 November 2017

Tabel 5. Hasil uji keras di setiap daerah

Daerah	Kekerasan (HV)		
	A avg	B avg	C avg
I	156,2333	156,2333	156,2333
II	158,4667	154	156,2333
III	175,4667	213,3333	191,2333
IV	217	241	194
V	141	170,3	137,2
VI	106,6667	107,5333	106,4333
VII	103	103	103

Data-data diatas diplot dalam suatu grafik, dengan sumbu X adalah daerah pengujian dan sumbu Y sebagai nilai kekerasan daerah.

**Gambar 10.** Grafik uji keras

Dari hasil pengujian dapat dilihat jika nilai kekerasan dari logam las jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kedua logam induk. Logam las memiliki kekerasan paling keras diantara daerah-daerah lain dan logam las ER-309 memiliki kekereasan paling tinggi. Pada HAZ baik di SS 304L maupun baja karbon rendah harga kekerasan mengalami kenaikan. Pada HAZ SS 304L jika dari hasil analisis mikro struktur, ada kemungkinan terdapatnya karbida krom dengan adanya fenomena sensitisasi sehingga harga kekerasan pada daerah HAZ SS 304L meningkat.

Secara keseluruhan harga kekerasan logam las yang lebih tinggi dibanding kedua logam induk menunjukkan jika hasil lasan menggunakan ketiga *filler metal* cocok untuk menyambung kedua logam induk. Hal ini didasarkan pada salah satu syarat logam las yang harus memiliki sifat mekanik yang lebih tinggi dibanding logam induknya (6). Dengan harga kekerasan di logam las dan batas fusi logam yang tidak terlalu tinggi, jika dibandingkan kekerasan martensite, hasil lasan dapat lebih tangguh apabila dibandingkan dengan benda kerja yang memiliki struktur mikro martensite.

KESIMPULAN

Ketiga sampel memiliki struktur mikro yang hampir sama mulai dari logam induk SS 304L yang berfasa Austenite, HAZ SS 304LL yang terindikasi mengalami sensitisasi, logam las yang memiliki perpaduan fasa Austenite dan δ -ferrite, batas fusi baja dan logam las yang memiliki *dark band*, daerah HAZ baja karbon yang mempunyai butir halus, dan logam induk baja karbon rendah yang berupa pearlite dengan matriks ferrite.

Harga kekerasan di logam las adalah yang paling tinggi diantara daerah-daerah pengelasan yang lain. Pada HAZ, baik pada SS 304L ataupun baja karbon rendah, mengalami peningkatan harga kekerasan dari logam induk masing-masing yang tidak terpengaruh panas.

Melihat hasil sambungan las dan sifat mekanik yang dihasilkan, ketiga logam pengisi cocok digunakan untuk menyambung SS 304L dan baja karbon rendah dengan kandung karbon 0,172 wt%.

REFERENCES

1. *Fluid Flow and Mixing in Linear GTA Welding of Dissimilar Ferrous Alloys*. A. Bahrami, et. al. 2016.
2. *Microstructure Characterization and Properties of Carbon Steel to Stainless Steel Dissimilar Metal Joint made by Friction Welding*. H. Ma, et. al. 2015.
2. Bramfitt, Bruce L. and Benschoter, Arlan O. *Metallographer's Guide: Practices and Procedures dor Irons and Steels*. s.l. : ASM International, 2002.
3. Kou, Sindo. *Welding Metallurgy Second Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2003.
4. Rochim Suratman, Hery Sonawan. *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung : Penerbit Alfabeta, 2004.
5. *Technological Advanced in Steels Heat Treatment*. Machado, Izabel Fernanda. Sao Paulo : ELSEVIER, 2005.

Pengaruh Penambahan Inhibitor Organik Dari Ekstrak Daun Tahongai (*Kleinhovia Hospita Linn.*) Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1040 Pada Monopole Wind Turbine Di Lingkungan HCl 0.1 M

Shaimah Rinda Sari^{1, A)}, Eli Novita Sari^{2, A)}, Yunita Triana^{3, A)}, & Sulistijono^{4, A)}

^{a)}Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan.

¹⁾06131010@itk.ac.id ²⁾06131001@itk.ac.id ³⁾nita@itk.ac.id ⁴⁾sulistijono@itk.ac.id

ABSTRACT

Tahongai (*Kleinhovia hospita Linn.*) is a shrub with soft green leaves and has been used for generations as a traditional medicine for the Dayak people in East Kalimantan. This plant contains a group of flavonoid and alkaloids compounds in the leaf which is an antioxidant compound as secondary metabolite results. Potential inhibition of mixed compound of Tahongai plant extract (*Kleinhovia hospita Linn.*) against corrosion rate of AISI 1040 carbon steel in monopole wind turbine application in 0.1 M HCl medium was studied through corrosion testing of weight loss method, while antioxidant compound content on extract was confirmed using FTIR function group analysis. The FTIR test results show the presence of electronegative atoms and double bonds of the alkenes groups that provide the potential of the extract as a corrosion inhibitor. Inhibition efficiency reached 97.257% for the addition of inhibitor with 300 ppm concentration and 20 days of immersing time. This inhibitory behavior is also supported by the results of corrosion rate calculation in which the lowest corrosion rate of 0.00606 mpy is obtained at the same concentration and immersion time.

PENDAHULUAN

Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar 2.5-7 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing yaitu Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa.

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah penggunaan turbin angin yang banyak digunakan untuk kebutuhan pertanian, seperti untuk menggerakkan pompa untuk keperluan irigasi, serta kebutuhan akan energi yaitu sebagai pembangkit listrik energi angin (Saleh, 2013). Khususnya untuk kincir angin lepas pantai yang ditujukan sebagai alternatif energi terbarukan (energi angin menjadi energi listrik), kekuatan dari kincir angin harus serta diperhatikan untuk menunjang optimalisasi pemanfaatan kincir angin. Lingkungan lepas pantai yang korosif menjadi ancaman terbesar bagi tiang kincir angin yang harus menopang seluruh bodi kincir angin. Pemilihan material yang cocok dan *maintenance* yang tepat harus diperhatikan dengan baik. Baja AISI 1040 merupakan material paling populer yang dipilih sebagai bahan dari tiang kincir angin. Baja AISI 1040 sering digunakan pada konstruksi tiang kincir lepas pantai dan laut. Lingkungan laut merupakan media yang korosif bagi baja AISI 1040. Seperti yang kita ketahui bahwa lingkungan laut merupakan lingkungan yang korosif dan penyebab utama terjadinya patah tiang. Patah tiang merupakan akibat dari adanya korosi yang menyerang tiang pipa kincir angin lepas pantai dan laut tersebut.

Inhibitor adalah suatu senyawa antioksidan yang dapat digunakan untuk menghambat proses oksidasi (Sayuti, 2015). Antioksidan yang berada pada lingkungan korosif mampu menghambat laju korosi. Antioksidan alami dapat ditemukan pada sayuran, buah-buahan, dan tumbuhan berkayu. Metabolit sekunder dalam tumbuhan yang berasal dari golongan alkaloid, flavonoid, saponin, kuinon, tanin, steroid/ triterpenoid (Gordon, 1994). Salah satu tumbuhan khas Kalimantan Timur yang tumbuh bebas dialam dan mengandung senyawa antioksidan adalah tanaman tahongai yang merupakan tanaman perdu dengan daun hijau yang lunak. Habitatnya kebanyakan berada di daerah pinggiran sungai. Tanaman tahongai memiliki beberapa khasiat antara lain mampu menurunkan kadar gula dalam darah, menurunkan kolesterol dan membantu memulihkan serta memperkuat hati. *Kleinhovia hospita* yang memiliki berbagai nama daerah seperti Tahongai (Dayak), Paliasa (Makassar), dan Katimahar (Ambon) digunakan sebagai obat tradisional di bagian Malaya, Indonesia dan Papua New Guinea untuk mengobati kudis.

Penelitian yang dilakukan dalam mengisolasi senyawa organik yang terdapat dalam daun paliasa atau daun tahongai berdasarkan beberapa tingkat polaritas pelarut, menunjukkan bahwa sekurang-kurangnya ada 96 isolat tunggal dan secara instrumentasi menunjukkan adanya senyawa golongan terpenoid dan fenolik (Noor dan Kumanireng, 2004).

Kemudian hasil penelitian yang dilakukan oleh Taebe (2004) berhasil diidentifikasi adanya golongan senyawa flavonoid dan alkaloid. Kemudian pada fraksi metilen klorida dari fraksi aktif diisolasi satu senyawa turunan kumarin yang diduga sebagai skopoletin (Wiwi, 2005).

Pada penelitian ini, inhibitor diekstrak dari daun Tahongai digunakan sebagai inhibitor korosi pada *monopole wind turbine* di lingkungan HCl 0,1 M. Gugus fungsi senyawa antioksidan pada ekstrak dikonfirmasi menggunakan pengujian FTIR. Selanjutnya efek konsentrasi inhibitor dan lama perendaman terhadap kinerja inhibitor dievaluasi melalui metode pengujian korosi metode *weight loss*.

MATERIAL DAN METODE

Material

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah wadah plastik ukuran 5000 mL, benang *nylon*, kayu penyangga, gelas ukur kapasitas 1000 mL, gelas ukur kapasitas 10 mL, timbangan digital, kertas gosok grade 80 hingga 2000, spatula, pipet tetes, penggaris, dan gunting. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, baja AISI 1040, larutan HCl 37%, aquades, dan daun tahongai segar yang didapatkan dari bapak Dr. Margono M. Amir, Bekasi.

Metode

- *Preparasi Spesimen*

Spesimen yang digunakan adalah baja AISI 1040 dengan komposisi (wt%): 0.37-0.44% C, 0.6-0.9% Mn, $\leq 0.05\%$ S, $\leq 0.04\%$ P dan keseimbangan Fe. Baja AISI 1040 dipotong berbentuk segi empat dengan ukuran 2 cm x 2 cm x 0,3 cm dan dilubangi menggunakan bor sebagai tempat mengaitkan benang. Lapisan pelindung di permukaan baja dihilangkan dengan cara *grinding* dan *polishing*.

- *Preparasi Inhibitor*

Daun tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.) berumur 3-4 bulan dipetik kemudian dikeringkan dengan diangin-anginkan pada temperatur ruang selama 21 hari. Pembuatan inhibitor dilakukan dengan metode maserasi dengan cara memasukkan 400 gram daun tahongai kering dengan 3000 mL etanol 95% ke dalam wadah berkapasitas 5000 mL.

Perendaman dilakukan selama 14 x 24 jam. Kemudian, hasil ekstraksi antara filtrat dan residunya dipisahkan. Filtrat digunakan sebagai ekstrak daun tahongai yang menjadi inhibitor organik. Konsentrasi inhibitor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm dan 500 ppm.

- *Preparasi Media Korosi*

Untuk mengencerkan HCl 37% menjadi HCl 0.1 M dicampurkan larutan HCl 37% sebanyak 8.3 mL dengan 91.7 mL aquades. Media ini selanjutnya dicampur dengan ekstrak dengan beragam konsentrasi.

- *Analisa Gugus Fungsi*

Analisa gugus fungsi dengan menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui senyawa-senyawa bioaktif yang terkandung dalam ekstrak daun tahongai. Analisa dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Uji dilakukan menggunakan alat FTIR spektrofotometer (Shimadzu) dengan metode pellet KBr.

- *Pengujian Korosi dengan Metode Weight Loss*

Pengujian ini dimaksudkan untuk melihat produk korosi dan mengetahui kehilangan berat yang dihasilkan sampel saat direndam dalam media korosif HCl 0.1 M. Pengujian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi inhibitor (0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm, dan 500 ppm) dan lama perendaman (10 hari, 20 hari, dan 30 hari). Pengujian korosi dengan metode *weight loss* dilakukan dengan pengulangan sebanyak tiga kali dan diambil nilai rata-ratanya. Persentase efisiensi inhibisi (IE%) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$IE\% = \frac{W - W_i}{W} \times 100 \quad (1)$$

Dimana w dan w_i merupakan nilai *weight loss* (kehilangan berat/ selisih berat) spesimen setelah uji korosi tanpa dan dengan penambahan inhibitor.

Sedangkan untuk mendapatkan nilai laju korosi dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$CR \text{ (mpy)} = \frac{W \times K}{D \cdot A_s \cdot T} \quad (2)$$

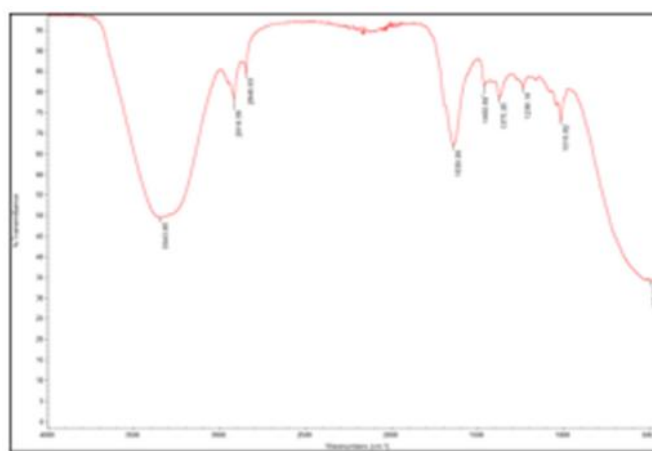
8 November 2017

Dimana CR, W, K, D, A_s, dan T berturut-turut adalah nilai laju korosi dalam satuan mpy, kehilangan berat (gram), konstanta faktor, densitas spesimen (g/cm³), luas permukaan (cm²), dan waktu perendaman (jam).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Gugus Fungsi

Dari hasil analisa gugus fungsi dengan menggunakan FTIR pada bahan inhibitor korosi, terdapat berbagai ikatan yang terkandung yang ditunjukkan dalam bentuk *peak*.



Gambar 1. Hasil FTIR pada inhibitor ekstrak daun tahongai

Tabel 1. Hasil analisa FTIR inhibitor daun tahongai

Wavenumber (cm ⁻¹)	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3343,85	3200 – 3600	O–H	Hidroksil
2916,56	2850 – 2970	C–H	Alkana
1639,99	1610 – 1680	C=C	Alkena
1460,69	1340 – 1470	C–H	Alkana
1375,35	1340 – 1470	C–H	Alkana
1238,18	1180 – 1360	C–N	Amina, Amida

Spektrum IR senyawa hasil isolasi memberikan informasi adanya puncak serapan gugus hidroksil pada bilangan 3343,85 cm⁻¹. Gugus hidroksil ini merupakan regangan –OH terikat (dapat berikatan dengan hidrogen), O – H terikat terlihat pada bilangan 3200 – 3600 cm⁻¹ yang membentuk pita melebar dengan intensitas yang kuat.

Pita serapan pada bilangan gelombang 2916,56 cm^{-1} yang menunjukkan adanya regangan C–H alifatik dan diperkuat dengan munculnya serapan pada 1460,69 cm^{-1} menunjukkan adanya ulur C–H. Serta diperkuat kembali dengan munculnya serapan pada 1375,35 cm^{-1} menunjukkan adanya ulur C–H. Pita serapan pada bilangan gelombang 1639,99 cm^{-1} menunjukkan regangan -C=C-. Kehadiran atom elektromagnetik yaitu N dan O serta ikatan ganda kelompok alkena memberikan potensi ekstrak sebagai inhibitor korosi (Kurniawan, 2015).

Berdasarkan gugus fungsi dari ekstrak daun Tahongai (*Kleinhovia hospita* Linn.) yang didapatkan dari hasil analisa uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), diindikasikan bahwa senyawa yang terkandung dalam ekstrak merupakan senyawa flavonoid. Flavonoid memiliki beberapa gugus fungsi, diantaranya ikatan rangkap karbon–karbon C=C, ikatan rangkap karbon–oksigen C=O, ikatan tunggal karbon–oksigen C–O, ikatan tunggal karbon–hidrogen C–H, dan ikatan tunggal oksigen–hidrogen O–H.

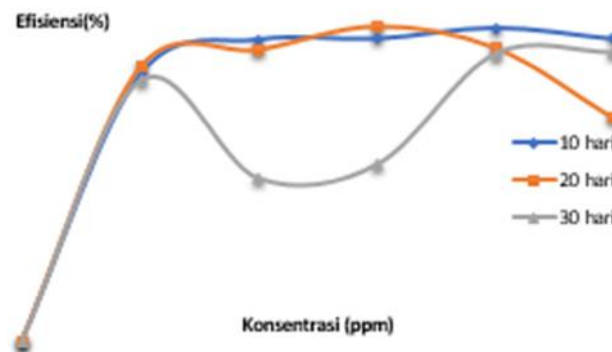
Hasil Pengujian Korosi Metode Weight Loss

Pengujian korosi dengan metode *weight loss* dilakukan dengan dan tanpa penambahan inhibitor. Variabel yang digunakan adalah tingkat konsentrasi inhibitor dan lama perendaman. Pengujian dilakukan dengan tiga kali pengulangan dan kemudian diambil rata-rata untuk selisih beratnya.

Tabel 2. Data hasil pengujian korosi metode *weight loss*

Konsentrasi inhibitor (ppm)	Lama perendaman (hari)	Kehilangan Berat (gr)	IE %	CR (mpy)
0	10	0.0802	-	0.51158
	20	0.0938	-	0.29916
	30	0.0980	-	0.20837
100	10	0.0137	82.91770574	0.08739
	20	0.0138	85.28784648	0.04401
	30	0.0187	80.91836735	0.03976
200	10	0.0051	93.64089776	0.03253
	20	0.0087	90.72494670	0.02774
	30	0.0485	50.51020408	0.10312
300	10	0.0049	93.89027431	0.03125
	20	0.0019	97.97441365	0.00606
	30	0.0442	54.89795918	0.09398
400	10	0.0022	97.25685786	0.01403
	20	0.0082	91.25799574	0.02615
	30	0.0104	89.38775510	0.02211
500	10	0.0050	93.76558603	0.03189
	20	0.0289	69.18976546	0.09217
	30	0.0100	89.79591837	0.02126

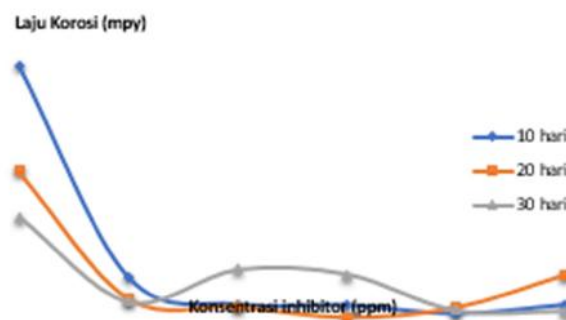
8 November 2017



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi inhibisi pada larutan HCl 0.1 M hasil uji korosi *weight loss*

Efisiensi inhibisi tertinggi pada larutan HCl 0.1 M adalah 97.974% dengan penambahan 300 ppm ekstrak daun tahongai perendaman 20 hari. Penurunan efisiensi inhibisi yang terjadi seiring bertambahnya lama waktu perendaman di indikasikan terjadi akibat lapisan pasif ekstrak tidak bisa menutupi seluruh permukaan baja, sehingga pada bagian yang tidak tertutupi, Fe dapat terion dan mengalami korosi.

Sebuah lapisan yang kuat dibentuk pada perendaman 10 hari, tapi ketika direndam dengan waktu yang lebih lama, lapisan lemah yang mudah terlarut akan terbentuk. Dengan demikian, lubang akan tertinggal di permukaan spesimen, yang membuatnya lebih rentan terhadap solusi yang agresif (Kurniawan, 2015). Efisiensi tertinggi dicapai pada penambahan inhibitor 300 ppm lama perendaman 20 hari diduga akibat terbentuknya lapisan pelindung yang kuat secara maksimal yang mampu menutupi seluruh permukaan logam.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi dan lama perendaman terhadap laju korosi pada larutan HCl 0.1 M

Dari data hasil pengujian, didapatkan laju korosi tertinggi berada pada konsentrasi 0 ppm dengan lama perendaman 10 hari yaitu sebesar 0.51158 mm/year, sedangkan laju korosi terendah berada pada konsentrasi 300 ppm dengan lama perendaman 20 hari yaitu sebesar 0.00606 mm/year. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan inhibitor organik ekstrak daun tahongai efektif dalam menghambat laju korosi di media HCl 0.1 M.

Mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi ekstrak daun tahongai diduga terjadi dengan mendonorkan hidrogen atau elektron kepada radikal bebas dan mengubahnya menjadi produk yang lebih stabil (lapisan pelindung). Selain itu, bagian rantai hidrokarbon dari senyawa flavonoid yang diduga terkandung di dalam ekstrak akan menghindarkan permukaan logam untuk bersentuhan dengan elektrolit karena bersifat hidrofobik.

KESIMPULAN

Penggunaan ekstrak daun tahongai sebagai inhibitor organik dinilai efektif dalam menghambat korosi pada baja AISI 1040 di lingkungan HCl 0.1 M. Efisiensi tertinggi yang didapatkan berada pada penambahan inhibitor dengan konsentrasi 300 ppm dan lama perendaman 20 hari, yaitu sebesar 97.974%. Selanjutnya, laju korosi tertinggi berada pada konsentrasi 0 ppm dengan lama perendaman 10 hari yaitu sebesar 0.51158 mm/year, sedangkan laju korosi terendah berada pada konsentrasi 300 ppm dengan lama perendaman 20 hari yaitu sebesar 0.00606 mm/year. Senyawa organik di dalam ekstrak daun tahongai yang berperan aktif dalam penghambatan korosi pada baja AISI 1040 diduga merupakan flavonoid.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank to Prof. Sulistijono, DEA for his assistance and comments that improved greatly the manuscript. We would like to show our gratitude to Jonas T. from Institut Teknologi Sepuluh Nopember who had given a help to conduct FTIR study.

REFERENSI

1. Gordon I, "*Functional Food, Food Design, Pharmafood*". New York: Champman dan Hall. (1994).
2. Kurniawan, F. dan Madurani, Kartika A., "Electrochemical and optical microscopy study of red pepper seed oilcorrosion inhibition by self-assembled monolayers (SAM) on 304 SS." Elsevier Organic Coatings. London. (2015).
3. Noor, A. dan Kumanireng A.S., "Isolasi dan Identifikasi Konstituen Organik Tanaman Daun Paliasa, *Kleinhovia hospita* Linn. pada Kelarutan Berdasarkan Kelompok Polaritasnya; Suatu Laporan Reserch". Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin. Makassar. (2004).
4. Saleh, A. S., "Rancang Bangun Energi Kincir Angin Putaran Rendah Tipe Multiblade HAWT untuk Irigasi Pertanian. Jurnal Ilmiah INOVASI, Vol. 13, No.3. (2013).
5. Sayuti, K., "*Antioksidan Alami dan Sintetik*". Padang: Andalas Press. (2015).
6. Taebe, B., "*Standarisasi Ekstrak Daun Paliasa (Kleinhovia hospita Liin.) Sebagai Bahan Baku Sedian Fitofarmaka*". Makalah disajikan dalam seminar hasil penelitian pada Pascasarjana Universitas Hasanuddin. (2004).
7. Wiwi, "Eksplorasi Senyawa Kimia Daun Paliasa (*Kleinhovia hospita* Linn.) Pada Fraksi Aktif Metilenklorida". Skripsi tidak diterbitkan. Makassar: Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. (2005).

Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi Pada Implan *Pedicle Screw* Ti-6Al-4V

Husaini Ardy^{1,A)}, & Deri Andika Bangun^{1,}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB

a) husaini@material.itb.ac.id b) derybangun@gmail.com

ABSTRACT

Ti-6Al-4V is material for pedicle screw implant. Mechanical properties and corrosion rate of material depend on its heat treatment(s). The objectives of this research are to evaluate effect of heat treatment(s) on microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of implant material. Material identification was conducted by energy dispersive spectroscopy (EDS). The first stage of heat treatment was to anneal material and heating at a various temperatures: 600, 750, 900, and 1050°C. Corrosion rate of samples were determined by polarization measurement. At temperature 600, 750, 900 °C, microstructure consist of equiaxed alpha and beta phase. The alpha and beta grain were coarsened along with the increasing in annealing temperature. At 1050°C and air cooling, the microstructure consist of fine lamellar structure with alpha network along prior beta grain boundary. The hardness of untreated sample is lower than that of treated one after heating at 600 o C, The hardness decreased with higher annealing temperature. The minimum corrosion rate in Hank's Solution are 0.091 mpy in sample 1 and 0.442 mpy in sample 2.

Keywords: *corrosion rate, hardness, pedicle screw, pullout strength,*

PENDAHULUAN

Implan *pedicle screw* adalah implan yang berbentuk sekrup berfungsi untuk menahan *rod* pada *spinal fusion surgery*. *Pedicle screw* akan mengalami pembebanan tarik, torsi, lentur dan geser [1]. Desain implan yang baik tentunya harus diiringi dengan performa material yang baik pula. Material yang digunakan sebagai implan pada makhluk hidup harus mempunyai sifat biokompatibel. Sifat biokompatibel ialah interaksi antara material terhadap tubuh makhluk hidup dalam hal ini ialah manusia. Material yang dipakai sebagai implan harus diterima dengan baik oleh tubuh dan tidak meracuni tubuh. Material yang implan *pedicle screw* yang memiliki sifat biokompatibel diantaranya adalah paduan titanium Ti-6Al-4V.

Laju korosi implan adalah salah satu aspek yang penting dalam menilai performa suatu implan. Degradasi disebabkan akibat interaksi antara implan dan cairan tubuh (darah dan cairan lainnya). Degradasi ini dapat memungkinkan implan kehilangan kekuatan strukturalnya sebagai penahan beban mekanik. Produk korosi implan yang larut ke cairan tubuh dapat menimbulkan respon tidak baik bagi tubuh. Korosi pada implan dipengaruhi banyak hal, diantaranya ialah struktur dan jenis fasa material. Proses produksi material tentunya akan mengubah karakteristik ketahanan korosi implan karena akan mengubah kondisi morfologi, jenis dan distribusi fasa pada material, sehingga diperlukan studi mengenai pengaruh proses produksi terutama proses perlakuan panas terhadap laju korosi implan *pedicle screw*.

Pengujian biokompatibilitas implan dan evaluasi perilaku degradasi implan akan diuji menggunakan larutan yang meniru konsentrasi ion-ion dalam cairan tubuh. Cairan tubuh yang dimaksud ialah *interstitial fluid* [2]. *Interstitial fluid* adalah cairan tubuh yang berkontak langsung dengan implan tulang. Larutan buatan yang dibuat tersebut dikondisikan dalam pH sekitar 7.4 dan temperatur sekitar 37°C agar meniru kondisi lingkungan di dalam tubuh manusia.\

MATERIAL DAN METODE

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah implan *pedicle screw*. Sampel implan *pedicle screw* berjumlah 2 sampel dengan perincian yang tertera di sampel antara lain:

1. Sampel 1 : *Mono Axial Single Lock Screw* Ø5.5 mm, Size: 40 mm. Material terbuat dari titanium.
2. Sampel 2: *Mono Axial Single Lock Screw* Ø4.5 mm x 40 mm. Material terbuat dari titanium.

Larutan yang dipakai untuk metalografi adalah H₂O₂, HF, HNO₃, dan Aqua DM yang diproduksi oleh BrataChem. Garam-garam yang dipakai untuk membuat *simulated body fluid* diproduksi oleh Puduk®.

Metode Penelitian

Karakterisasi Sampel

8 November 2017

Proses karakterisasi sampel dilakukan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS).

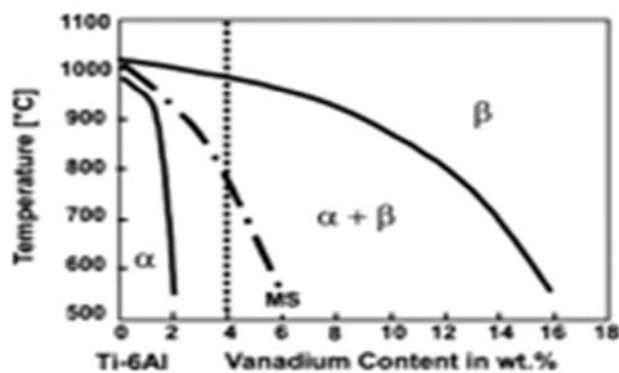
Desain Sampel

Desain implan ditentukan secara kualitatif berdasarkan dimensi implan, jenis inti implan, jenis ulir, dan kondisi permukaan implan. Pengukuran *inner* diameter dari implan dilakukan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian ± 0.01 mm.

Perlakuan Panas Sampel

Sampel implan dilakukan perlakuan panas. Proses perlakuan panas yang dilakukan pada sampel berada pada daerah α dan β . Temperatur perlakuan panas diantaranya :

1. Pemanasan pada temperatur 600°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam tungku.
2. Pemanasan pada temperatur 750°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam tungku.
3. Pemanasan pada temperatur 900°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam tungku.
4. Pemanasan pada temperatur 1050°C selama 1 jam, dilanjutkan dengan pendinginan udara.



Gambar 1. Diagram Fasa Ti-6Al-4V.

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan sampel dilakukan dengan mesin uji keras Vickers Zwick®. Pengujian kekerasan dilakukan di tiga titik di masing-masing sampel. Pengujian kekerasan menggunakan beban 0.5 kg.

Pengukuran Laju Korosi

Pengukuran laju korosi sampel menggunakan alat polarisasi VersaStat®. Alat polarisasi yang dipakai menggunakan 3 elektroda. Larutan yang digunakan untuk pengujian ialah *simulated body fluid* (Hank's Solution). Komposisi Larutan Hank yang dipakai dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Larutan Hank

Senyawa	Komposisi (gram)
KH_2PO_4	0.609
NaHCO_3	0.352
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.611
$\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.426
KCL	0.411
NaCl	8.002
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.0612
Glukosa	1.015
NaHCO_3 (Pengatur pH)	0.198

Metalografi Sampel

Proses metalografi sampel diawali dengan pemotongan sampel, dilanjutkan dengan *mounting*, *grinding* dengan menggunakan kertas SiC grit 100 – 2000, *attack polishing* dengan H_2O_2 , dan pengetsaan dengan menggunakan Kroll's Reagent di *swab* selama 1 menit.

Perhitungan Pesentase Fasa β

Perhitungan persentase fasa β pada struktur mikro yang didapat dari metalografi dilakukan dengan menggunakan software ImageJ® dan *plugin* Fiji®

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Sampel

Pengamatan visual sampel uji menunjukkan adanya perbedaan kedua sampel yang digunakan. Pengamatan dilakukan terhadap ulir (jenis dan bentuk), dan inti. Hasil pengamatan dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Desain Sampel 1 dan Sampel 2.

Sampel	Jenis Ulir	Bentuk ulir	Jenis Inti / core
1	Buttress (B)	Cylindrical	Conical
2	Square (S)	Cylindrical	Cylindrical

Hasil Karakterisasi

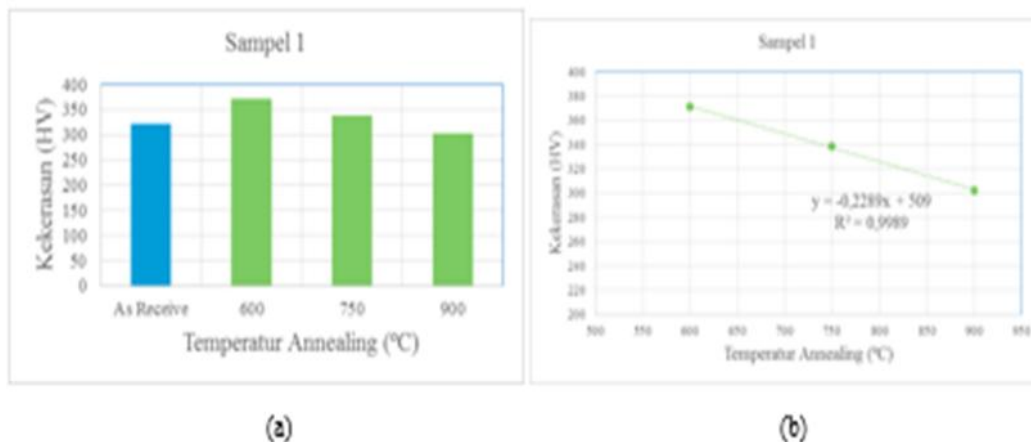
Karakterisasi dengan EDS bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia sampel uji. Hasil karakterisasi kedua sampel dapat dilihat dalam Tabel 3. Material kedua sampel uji mendekati komposisi paduan titanium Ti-6Al-4V, tetapi jumlah aluminium dalam sampel lebih sedikit. Kandungan vanadium dalam sampel 2 lebih tinggi dari spesifikasi.

Tabel 3. Hasil Karakterisasi Sampel

Unsur (%mass)	Sampel 1	Sampel 2
Titanium	91.66	89.04
Aluminium	4.12	5.57
Vanadium	4.22	5.39

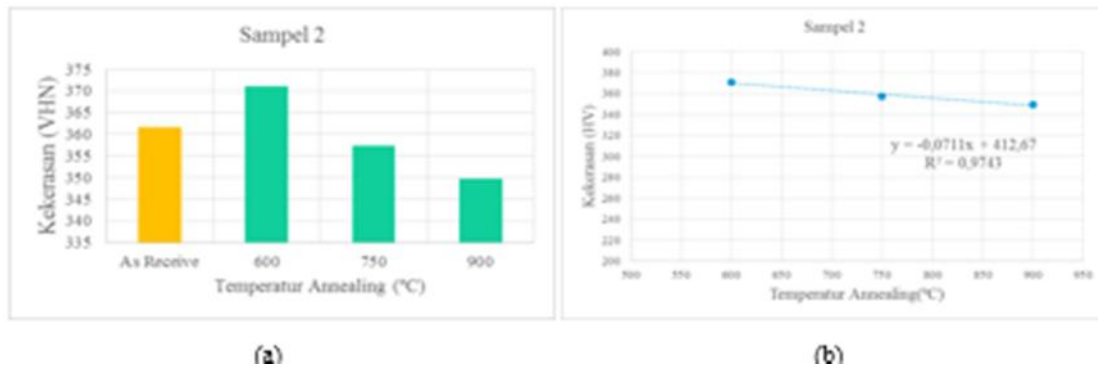
Hasil Uji Keras

Hasil pengujian kekerasan sampel ditunjukkan dalam Gambar 2 dan 3 sebagai berikut,



Gambar 2. Hasil pengujian kekerasan sampel 1 (a) dan grafik tren perubahan kekerasan sampel 1 (b).

8 November 2017



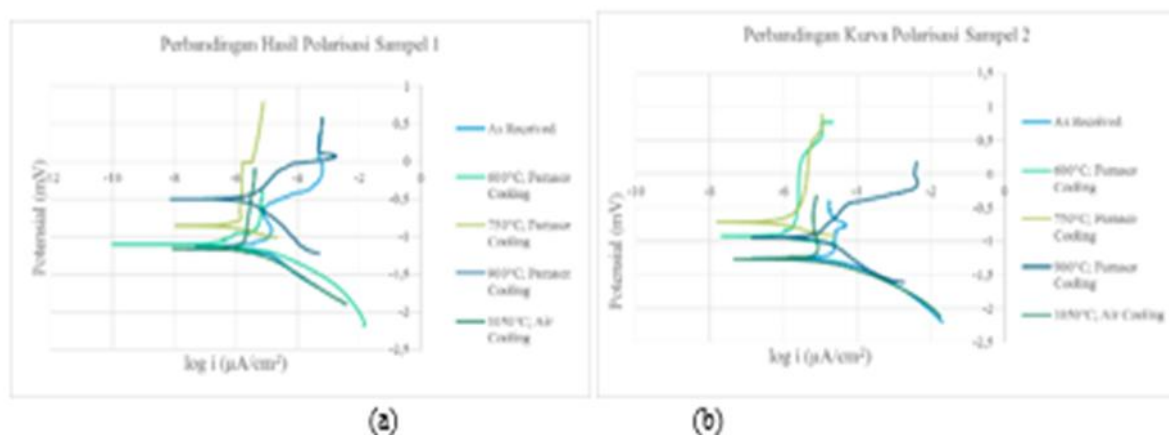
Gambar 3. Hasil pengujian kekerasan sampel 2 (a) dan grafik tren perubahan kekerasan sampel 2 (b).

Hasil pengukuran kekerasan pada sampel 1 dan 2 menunjukkan perubahan nilai kekerasan dari spesimen awal dan spesimen yang dipanaskan pada temperatur 600°C. Kekerasan sampel naik setelah melalui proses *annealing*. Hal ini disebabkan karena terjadi perubahan ukuran butir α yang semula kasar menjadi lebih halus. Kekerasan setelah pemanasan pada 750 dan 900°C lebih rendah daripada 600°C dan spesimen awal.

Pemanasan di temperatur 1050°C) menghasilkan α network disekitar *prior* β grain boundary. Fasa α network pada batas butir dapat terjadi bila dilakukan pemanasan diatas temperatur β transus dan dapat menurunkan kekuatan tarik dan menurunkan ketahanan *fracture* material akibat retak yang mudah merambat di batas butir [3].

Hasil Pengukuran Laju Korosi pada Simulated Body Fluid.

Hasil pengukuran polarisasi pada larutan Hank ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4. Kurva Polarisasi Sampel 1(a) dan Kurva Polarisasi Sampel 2 (b).

8 November 2017

Pada larutan Hank, fenomena pasivasi terlihat pada Sampel 1 As-Received, Anneal 900°C, Sampel 2 yang dianneal 900°C.



Gambar 5. Perbandingan Laju Korosi pada Sampel 1 dan Sampel 2

Struktur mikro spesimen sampel 1 tanpa perlakuan, sampel 1 *anneal* 900°C, dan sampel 2 *anneal* 900°C memiliki morfologi fasa β yang terlihat tumbuh di sepanjang batas butir α . Hipotesis yang dapat diambil dari data struktur mikro dan laju korosi ialah tingginya laju korosi pada sampel berikut disebabkan karena fasa β yang lebih aktif terkorosi akibat berada pada batas butir α . Batas butir suatu fasa adalah daerah dimana energinya lebih tinggi daripada di dalam butir. Energi yang tinggi ini membuat fasa β yang terdapat di batas butir α memiliki laju korosi yang tinggi. Sehingga, pada struktur mikro yang terdiri atas fasa α dan β yang seragam memiliki laju korosi relatif rendah.

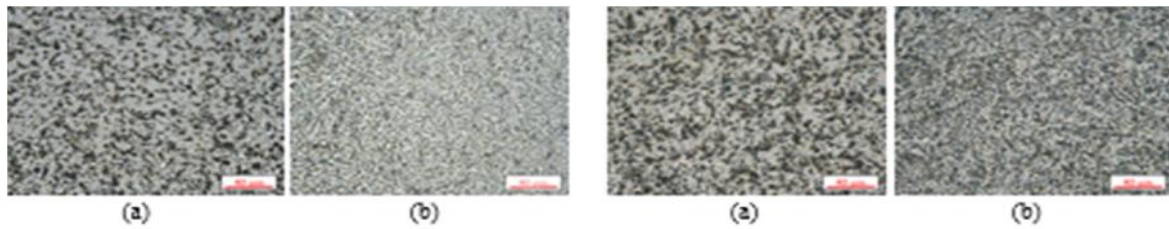
Hasil Metalografi Sampel

Hasil metalografi sampel 1 dan sampel 2 menunjukkan butir β semakin kasar dan berdampak pada butir α yang semakin halus. Aliran material pada sampel 2 sedikit menghilang, menunjukkan adanya proses rekristalisasi pada sampel. Hal ini disebabkan mungkin karena adanya sisa deformasi plastis waktu pembuatan ulir.

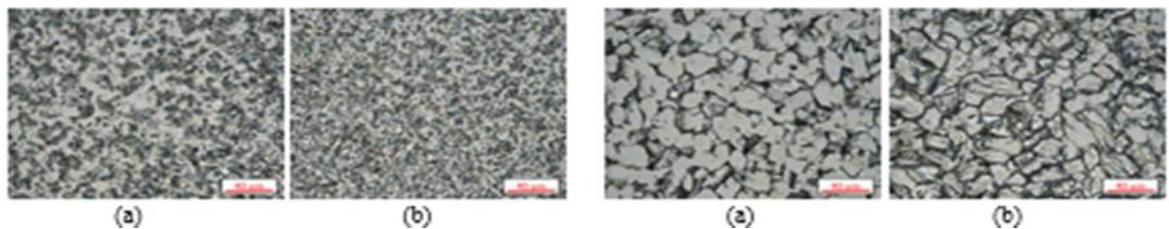
Hasil metalografi sampel 1 dan 2 yang didapat dari pemanasan pada temperatur 1050°C dan pendinginan di udara menghasilkan fasa α dan β yang berbentuk lamellar halus. Hasil metalografi juga menunjukkan *prior β grain boundary*. *Prior β grain boundary* adalah batas butir β yang terdapat pada temperatur 1050°C (daerah β). Batas butir ini adalah tempat pengintian α seiring dengan menurunnya temperatur.

8 November 2017

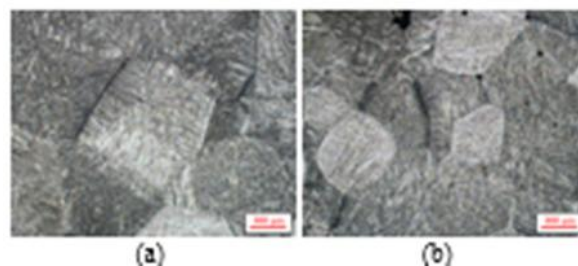
Hasil metalografi menunjukkan pada sampel 1 dan sampel 2, terdapat fasa α yang berbentuk jaringan (*network*) pada *prior* β grain boundary. Di batas butir, didapatkan fasa α yang tumbuh disepanjang batas butir, tetapi pada bagian tengah butir, laju pendinginan tidak mencukupi untuk atom-atom Ti dan Al (penstabil α) untuk berdifusi ke batas butir β . Oleh karena itu modus pertumbuhan fasa α bukan lagi secara allotriomorf, tetapi secara Widmanstatten sehingga terbentuk fasa $\alpha+\beta$ yang berbentuk lamelar.



Gambar 6. Struktur mikro Sampel 1 (a) dan Sampel 2 (b) *as receive* **Gambar 7.** Struktur mikro Sampel 1 (a) dan Sampel 2 (b) setelah diberi pemanasan 600°C selama 1 jam



Gambar 8. Struktur mikro Sampel 1 (a) dan Sampel 2 (b) setelah diberi pemanasan 750°C selama 1 jam **Gambar 9.** Struktur mikro Sampel 1 (a) dan Sampel 2 (b) setelah diberi pemanasan 900°C selama 1 jam.



Gambar 10. Struktur mikro Sampel 1 (a) dan Sampel 2 (b) setelah diberi pemanasan 1050°C selama 1 jam dilanjutkan dengan *air cooling*

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan ialah:

1. Desain Sampel 1 adalah *Cylindrical/Conical* sedangkan desain Sampel 2 adalah *Cylindrical/Cylindrical*
2. Perlakuan panas *annealing* pada temperatur 600°C menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi sebesar 371 HV pada Sampel 1 dan Sampel 2.
3. Laju korosi pada larutan Hank yang paling rendah terdapat pada sampel yang di-*anneal* pada temperatur 600°C yaitu sebesar 0.091 mpy pada Sampel 1 dan 0.442 mpy pada Sampel 2.

REFERENSI

1. T. Demir and C. Basgull, *The Pullout Performance of Pedicle Screws* (London, Springer, 2015).
2. <http://www.austincc.edu/apreview/EmphasisItems/Electrolytefluidbalance.html>. [Accessed 12 5 2017].
3. N. K. KUMAR, P. MUNESHWAR, S. K. SINGH, A. . K. JHA, B. PANT and K. M. GEORGE, "Effect of Grain Boundary Alpha on Mechanical Properties of Ti5.4Al3Mo1V Alloy," *The Minerals, Metals & Materials Society*, Vols. Vol. 67, No. 6, pp. 1265-1272, 2015.

Monitoring Proses Flotasi Kolom Biji Sulfida Menggunakan Sinyal Kapasitansi Dengan Variasi Ukuran Partikel Dan Laju Alir Udara

Didied Harjono^{1, A)}, Sri Harjanto^{1, B)}, M. Kidam Hady², Soesaptri Oediyani², Harisma Nugraha³, Mahfudz A. Huda³, & Warsito P. Taruno³

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok.

²Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.

³Center for Non-Destructive Testing and Process Imaging, CTECH Labs Edwar Technology, Tangerang.

a) didiedhar@gmail.com b) harjanto@metal.ui.ac.id

ABSTRACT

Monitoring on column flotation process of sulfide ore using two-electrode capacitance sensor is presented in this paper. Effects of particle size distribution and air flow rate on the metallurgical performance (recovery) and capacitance signal also have been experimentally investigated. The purpose of the study is to determine whether metallurgical performance can be predicted using capacitance signal. Flotation experiment was performed in a laboratory-scale column. Capacitance signal was captured by a sensor installed on the outer wall of collection zone, connected to data acquisition system and personal computer for further analysis. Devices were manufactured by CTECH Labs Edwar Technology. One liter of slurry with 10% solid (60 g sphalerite, 40 g quartz) was prepared as flotation feed. Particle size distribution was varied at -140+200# and -200#. After conditioning with reagents, slurry was fed into the aerated column and floated for 10 minutes. Air flow rate was set at 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, and 4.0 L/min. Monitoring was carried out simultaneously with flotation process. Greater mineral recovery was obtained at finer particle size (-200#), as was the case for capacitance signal. Increasing air flow rate had opposite effect on the recovery for each particle size distribution. Through linear regression, the correlation between metallurgical performance and capacitance signal was analyzed. Values of determination coefficient for -140+200# and -200# were 0,49 and 0,55, respectively. Experimental results obtained from this study will be useful for further research on column flotation monitoring using multi-electrode ECVT sensor.

PENDAHULUAN

Dalam pengolahan mineral, flotasi merupakan salah satu teknik konsentrasi yang bertujuan memisahkan mineral berharga dari *gangue* dengan cara mengeksploitasi perbedaan hidrofobisitas permukaan. Flotasi kolom berbeda dengan proses flotasi konvensional karena kontak antara partikel mineral dan gelembung udara terjadi secara *counter-current*, tanpa mekanisme agitasi oleh *impeller*. Partikel-partikel mineral dari *slurry* yang diumpungkan ke dalam kolom bertumbukan dengan kerumunan gelembung yang dihasilkan oleh *sparger*. Partikel hidrofobik akan melekat pada gelembung udara dan diapungkan menuju *froth zone* untuk kemudian diperoleh sebagai konsentrat sedangkan partikel hidrofilik akan tertinggal di dalam *slurry* dan dikeluarkan sebagai *tailing* [1]–[3].

Sebagai suatu alternatif sel flotasi konvensional, kolom flotasi memberikan berbagai keuntungan di antaranya *froth* yang lebih tebal dan stabil, serta *recovery* (perolehan) mineral berharga yang lebih tinggi [4, 5]. *Recovery* merupakan salah satu parameter yang menentukan performa metalurgis atau efisiensi proses flotasi kolom. Besar *recovery* dipengaruhi oleh beragam variabel seperti ukuran partikel, persen padatan, dosis reagen, ketebalan *froth*, laju *wash water*, dan laju pengumpanan [3]–[5].

Teknologi *monitoring* proses yang telah secara luas dipergunakan dalam industri flotasi adalah *machine vision* [6, 7]. *Machine vision* memanfaatkan kamera berkecepatan tinggi untuk memonitor permukaan *froth* dan karakteristik fisiknya. Namun demikian, teknologi ini hanya dapat menghasilkan gambar dua dimensi dan tidak mampu menggambarkan fenomena yang terjadi di sepanjang arah aksial kolom flotasi. Selain itu, konsistensi gambar yang dihasilkan oleh *machine vision* sangat dipengaruhi oleh tingkat pencahayaan. Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) dapat menjadi teknologi alternatif untuk mengatasi keterbatasan tersebut.

ECVT adalah teknik pencitraan yang telah diaplikasikan dalam berbagai proses-proses industri yang melibatkan multifasa, seperti *fluidized bed* dan *bubble column*. Sensor kapasitansi ECVT bersifat non-intrusif dan non-invasif. Tahap pertama dalam ECVT adalah akuisisi sinyal kapasitansi oleh sensor yang dipasang di dinding luar bejana proses. Kapasitansi terukur dapat kemudian digunakan untuk merekonstruksi citra volumetrik (3D) sehingga menghasilkan *monitoring* proses yang lebih komprehensif [8]–[10].

Studi ini dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh variabel ukuran partikel dan laju alir udara terhadap performa metalurgis proses flotasi kolom serta terhadap sinyal yang ditangkap oleh sensor kapasitansi dua-elektroda. Melalui investigasi tersebut, hubungan antara performa metalurgis dan sinyal kapasitansi juga dianalisis. Studi ini merupakan salah satu langkah awal dalam pengembangan teknologi ECVT untuk *monitoring* flotasi kolom dan hasil eksperimen yang diperoleh memberikan informasi penting untuk penelitian lanjutan menggunakan sensor multi-elektroda.

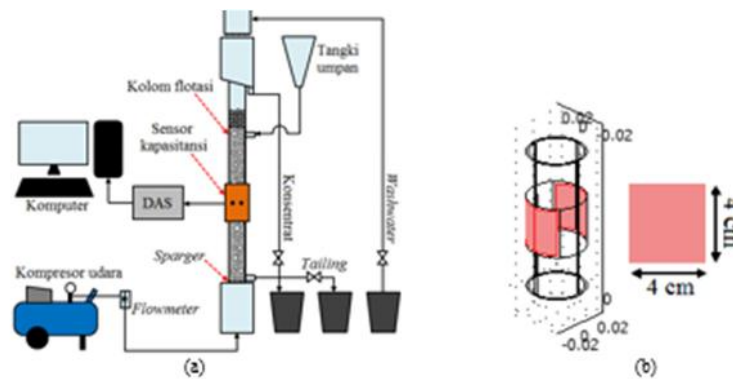
MATERIAL DAN METODE

Material

Sampel yang diapungkan bukan berupa bijih alami melainkan campuran antara sfalerit murni ($\approx 100\%$ ZnS) dan kuarsa (SiO_2). Sampel digerus menggunakan *rod mill* lalu diayak untuk mendapatkan dua distribusi ukuran partikel: -140+200# dan -200#. Reagen-reagen flotasi yang digunakan antara lain *soda ash* (Na_2CO_3) sebagai regulator pH, tembaga sulfat (CuSO_4) sebagai aktivator, *potassium amyl xanthate* sebagai kolektor, dan DowFroth[®] 1012 (DF-1012) sebagai *frother*. Air yang digunakan dalam eksperimen adalah aqua demineralisasi.

Seperti diilustrasikan Gambar 1 (a), eksperimen dilakukan dalam sebuah sel kolom flotasi berskala laboratorium yang dibuat dari akrilik dengan tinggi keseluruhan 150 cm dan diameter internal 4,6 cm. Kolom dilengkapi dengan sebuah sensor kapasitansi dua-elektroda (tipe konkap) yang desainnya ditampilkan pada Gambar 1 (b). Sensor dipasang pada dinding luar kolom, tepat di tengah-tengah *collection zone* (50 cm dari *sparger*). Sensor tersebut dihubungkan dengan sebuah sistem akuisisi data (DAS) model DAQ 33202 serta sebuah komputer untuk mengolah sinyal yang terakuisisi. Baik sensor maupun DAS diproduksi oleh CTECH Labs Edwar Technology.

8 November 2017



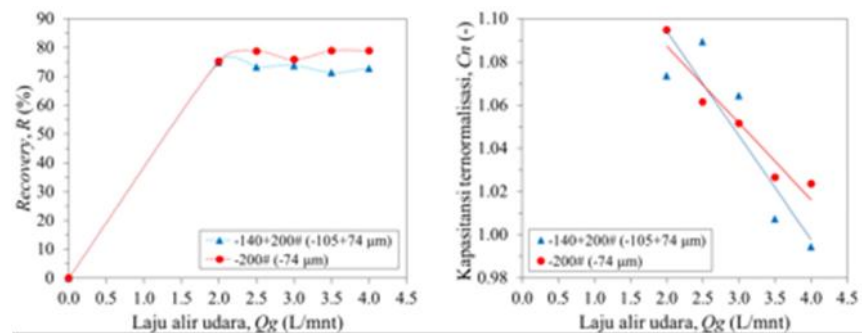
Gambar 1. (a) Ilustrasi skematis *setup* eksperimen dan (b) desain sensor kapasitansi.

Metode

Sejumlah 1 liter *slurry* dengan 10% padatan (60 g sfalerit, 40 g kuarsa) disiapkan sebagai umpan flotasi. Distribusi ukuran partikel bijih divariasikan pada -140+200# dan -200#. Secara berurutan, ke dalam *slurry* ditambahkan *soda ash*, tembaga sulfat, dan PAX dengan dosis masing-masing 500 g/ton bijih (0,05 g). Target pH diatur pada rentang 8-10. DF-1012 ditambahkan pada dosis 30 ppm. Setelah pengkondisian selama 5 menit dengan reagen-reagen, *slurry* diumpankan ke dalam kolom. Proses flotasi dilakukan dengan durasi 10 menit untuk laju alir udara (Q_g) sebesar 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; atau 4,0 liter/menit. Konsentrat dan *tailing* yang diperoleh kemudian dikeringkan, ditimbang, dan dianalisis komposisi kimianya menggunakan teknik *x-ray fluorescence* (XRF).

Sebelum digunakan, sensor kapasitansi harus terlebih dahulu dikalibrasi dengan mengakuisisi sinyal untuk kondisi kolom kosong (berisi udara) dan kondisi penuh (berisi air). *Monitoring* dilakukan secara *real-time*, dimulai begitu *slurry* diumpankan ke dalam kolom hingga proses flotasi selesai. Kecepatan akuisisi DAS diatur pada 38 *frame* per detik, dengan total *frame* 22800 selama 10 menit. Data sinyal yang terukur kemudian disimpan dan diolah secara *offline*. Sinyal kapasitansi merupakan hasil konversi dari sinyal tegangan yang terukur oleh DAS. Adapun nilai kapasitansi dinormalisasi menggunakan data kalibrasi sensor.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Pengaruh fraksi ukuran partikel dan laju alir udara terhadap: (a) *recovery* and (b) kapasitasansi.

Tabel 1. Hasil eksperimen *monitoring* proses flotasi kolom.

Laju alir udara, Q_g (L/mnt)	Recovery, R (%)		Kapasitansi ternormalisasi, C_r (-)	
	-140+200#	-200#	-140+200#	-200#
0	0	0	-	-
2,0	74,93	75,34	1,0738	1,0949
2,5	73,33	78,83	1,0895	1,0617
3,0	73,90	75,90	1,0646	1,0517
3,5	71,38	78,97	1,0076	1,0267
4,0	72,82	78,92	0,9945	1,0238

4,0

72,82

78,92

0,9945

1,0238

Ukuran Partikel terhadap Recovery dan Sinyal Kapasitansi

Recovery dan sinyal kapasitansi telah diteliti sebagai fungsi dari ukuran partikel. Dalam investigasi ini digunakan dua distribusi ukuran partikel, yaitu -140+200# dan -200#. Hasil eksperimen pada Tabel 1 dan Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa, untuk tiap-tiap variabel laju alir udara, ukuran partikel yang halus (-200#) menghasilkan *recovery* yang relatif lebih besar dibandingkan partikel berukuran kasar (-140+200#). Laju alir udara 2,5 L/mnt, menghasilkan 73% *recovery* untuk -140+200# dan 79% untuk -200#.

Partikel-partikel mineral dengan ukuran halus memiliki massa yang lebih ringan, memungkinkannya untuk dapat dengan mudah disokong oleh gelembung udara dan diapungkan menuju *froth zone*. Partikel-partikel mineral berukuran halus juga melingkupi area permukaan yang lebih luas, meningkatkan kemungkinan kontak dengan gelembung-gelembung udara. Akan tetapi, semakin halus distribusi ukuran partikel menyebabkan tingginya risiko perolehan mineral *gangue* melalui mekanisme *entrainment* [1].

Dalam pengukuran kapasitansi, sistem flotasi kolom (air, gelembung udara, partikel mineral, reagen) berperilaku sebagai suatu medium dielektrik. Mineral sulfida dan kuarsa adalah mineral yang dikategorikan sebagai polar [1, 11]. Selama *monitoring* berlangsung, terdapat medan listrik di antara kedua elektroda sensor yang mengakibatkan polarisasi material-material polar di dalam medium. Polarisasi dielektrik berhubungan dengan tingginya permitivitas atau resistansi medium tersebut terhadap fluks listrik. Kapasitansi suatu medium dielektrik berbanding lurus dengan permitivitasnya [12].

Bagaimana ukuran partikel mempengaruhi sinyal kapasitansi dapat dihubungkan dengan jumlah partikel mineral yang berada di dalam sistem kolom flotasi. Untuk persen padatan tertentu dalam *slurry*, distribusi ukuran partikel yang halus terdiri dari lebih banyak partikel mineral polar. Hal ini meningkatkan efek polarisasi yang terjadi sehingga permitivitas atau kapasitansi medium semakin tinggi. Sebagai contoh, nilai kapasitansi sistem flotasi dengan laju alir udara 2,0 L/mnt adalah 1,0738 (ternormalisasi) untuk distribusi ukuran partikel -140+200# kemudian meningkat menjadi 1,0949 untuk distribusi ukuran -200#.

Laju Alir Udara terhadap Recovery dan Sinyal Kapasitansi

Recovery dan sinyal kapasitansi juga diinvestigasi sebagai fungsi dari laju alir udara. Pada eksperimen dengan distribusi ukuran -200#, laju alir udara yang lebih tinggi menghasilkan *recovery* yang lebih besar. *Recovery* mengalami peningkatan karena partikel-partikel berukuran halus, baik mineral berharga maupun *gangue*, dapat dengan mudah untuk terbawa menuju *froth* melalui mekanisme *entrainment* (terbawa aliran air).

Sampai dengan laju 2,5 L/mnt, injeksi udara menciptakan karakteristik aliran '*bubbly flow*' dengan gelembung-gelembung udara berukuran relatif sama yang terdistribusi secara homogen di sepanjang kolom dan mengapung pada laju yang cukup seragam. *Bubbly flow* ideal untuk mencapai *recovery* yang tinggi karena kondisi tersebut memperbesar kemungkinan kontak antara gelembung udara dan partikel mineral [2].

Aliran berubah menjadi *churn-turbulent* pada laju alir udara tinggi ($Q_g > 2.5$ L/mnt), mengganggu stabilitas *froth* dan memperbesar kemungkinan terlepasnya partikel-partikel hidrofobik yang telah melekat dengan gelembung udara (*detachment*).

Untuk distribusi ukuran -140+200#, *recovery* pada laju alir udara 2,0 L/mnt adalah 75%. Nilai ini menurun menjadi 71% ketika laju alir udara diperbesar menjadi 3,5 L/mnt.

Apabila dikombinasikan dengan peran *frother* dalam mereduksi ukuran gelembung, laju alir udara yang semakin tinggi akan memperbanyak jumlah maupun distribusi gelembung udara dalam kolom flotasi. Udara memiliki permitivitas relatif yang rendah ($\epsilon_r = 1,0006$), hampir sama nilainya dengan permitivitas relatif vakum ($\epsilon_r = 1$) [12]. Oleh karena itu, kehadiran gelembung yang dominan pada eksperimen dengan laju alir udara tinggi dapat menurunkan permitivitas relatif sistem flotasi kolom dan kapasitansinya. Dapat dicermati pada Tabel 1 dan Gambar 2 (b) bahwa tren nilai kapasitansi ternormalisasi menurun seiring bertambah besarnya laju alir udara.

Korelasi Performa Metalurgis dan Sinyal Kapasitansi

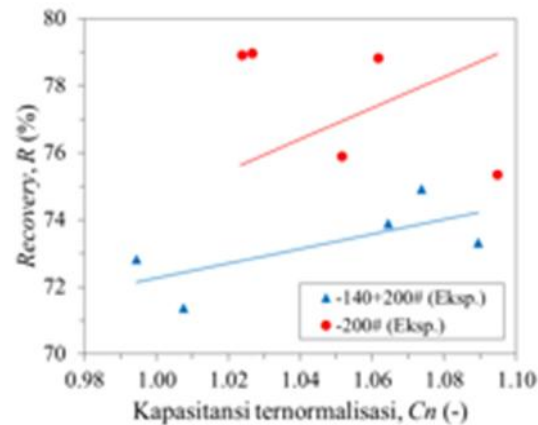
Salah satu tujuan investigasi ini adalah untuk mengetahui apakah sinyal kapasitansi dapat digunakan untuk memprediksi performa metalurgis proses flotasi kolom. Pada Gambar 3, kedua variabel tersebut diplot terhadap satu sama lain dan dikenai regresi linier. Eksperimen dengan distribusi ukuran -140+200# menunjukkan korelasi positif antara kapasitansi ternormalisasi dan *recovery*, dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,70. Sementara itu, pada distribusi ukuran -200# didapatkan korelasi negatif dengan nilai r sebesar -0,74. Kedua eksperimen memperlihatkan hubungan linier yang kuat.

$$y = 22x + 50 \quad (1)$$

$$y = -46x + 126 \quad (2)$$

Nilai koefisien determinasi (r^2) untuk distribusi ukuran partikel -140+200# dan -200# secara berurutan adalah 0,49 dan 0,55. Ini mengindikasikan bahwa hanya sekitar 50% perubahan nilai *recovery* yang dapat diprediksi menggunakan model linier dengan sinyal kapasitansi sebagai prediktor. Persamaan (1) adalah model yang diperoleh untuk eksperimen dengan distribusi ukuran partikel -140+200# sedangkan persamaan (2) untuk -200#. *Recovery* dinotasikan oleh y , sinyal kapasitansi oleh x .

8 November 2017



Gambar 3. Korelasi *recovery* dan kapasitasansi pada distribusi ukuran -140+200# dan -200#.

KESIMPULAN

Melalui investigasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan perubahan performa metalurgis dan sinyal kapasitasansi dipengaruhi oleh perubahan variabel distribusi ukuran partikel dan laju alir udara. Variabel -200# menghasilkan *recovery* dan nilai kapasitasansi yang relatif lebih tinggi dibanding -140+200#. Meningkatnya laju alir udara memberikan efek yang berbeda pada masing-masing distribusi ukuran, yaitu penurunan *recovery* untuk variabel -140+200# dan peningkatan *recovery* untuk -200#. Model yang diperoleh dari hasil eksperimen -140+200# dan -200# masing-masing memiliki koefisien determinasi sebesar 0,49 dan 0,55.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan melalui skema hibah “Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2017”.

REFERENSI

1. B. A. Wills and J. A. Finch, “Froth Flotation,” in *Wills’ Mineral Processing Technology 8th ed.* (Butterworth-Heinemann, Oxford, 2016), pp. 265–269.
2. J. A. Finch and G. S. Dobby, *Column Flotation* (Pergamon Press, Oxford, 1990), pp. 1–4, 13–15.
3. M. C. Fuerstenau and P. Somasundaran, “Flotation,” in *Principles of Mineral Processing* (Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, CO, 2003), pp. 245–306.
4. R. J. Byron Smith, *International Journal of ChemTech Research* **4**, 1198–1202 (2012).
5. H. Hacifazlioglu and H. Sutcu, *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers* **38**, 287–293 (2007).
6. C. Aldrich et al., *International Journal of Mineral Processing* **96**, 1–13 (2010).
7. S. H. Morar, M. C. Harris, and D. J. Bradshaw, *Minerals Engineering* **36–38**, 31–36 (2012).
8. W. Warsito, Q. Marashdeh, and L. Fan, *Sensors* **7**, 525–535 (2007).
9. Q. Marashdeh et al., *Industrial & Engineering Chemistry Research* **47**, 3708–3719 (2008).
10. F. Wang et al., *Sensors* **10**, 1890–1917 (2010).
11. M. S. Zhdanov, “Dielectric properties of rock-forming minerals,” in *Geophysical Electromagnetic Theory and Methods* (Elsevier, Oxford, UK, 2009), pp. 420–425.
12. J. Walker, D. Halliday, and R. Resnick, “Capacitor with a dielectric,” in *Fundamentals of Physics 10th ed.* (John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2014), pp. 731–734.

**PENGARUH TEMPERATUR PEMANASAN TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN
MATERIAL BEARING JIS G4805 SUJ 4**

Husaini Ardy^{1, A)}, & Muhammad Giffary Meirza Hanggoro^{1,}

B)

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi
Bandung, Bandung.

a)husaini@material.itb.ac.id b)giffarymeirza@gmail.com.

ABSTRACT

Bearing is a part of a machine that connects rotating parts with minimum friction effect. JIS G4805 SUJ 4 is one of the materials that widely used as a material for bearing. During application, bearing might be exposed to high temperature during assembly/disassembly or excessive friction due to lubrication problem. Unintentionally exposure of bearing to high temperature will degrade its properties such as hardness that may led to premature failure. This research is intended to find out the relationship between heating temperature to the hardness and micro structure of JIS G4805 SUJ 4 bearing material. The heating were performed at the temperature of 150°C, 250°C, and 350°C. The hardness decrease with the increase in heating temperature. The finding supports the result of metallography that shows the increase in carbide volume fraction and decreasing of martensite volume fraction that will decrease the hardness. An equation that can be used to estimate the hardness of JIS G4805 SUJ 4 material with heating temperature has been proposed. The equation is $Y = (-0,0425 X) + 61,292$, where Y is hardness in HRC and X is heating temperature in °C.

Keywords: *Bearing, Heating, Hardness, Hardness and Heating Temperature Equation.*

PENDAHULUAN

Ball Bearing merupakan salah satu jenis dari *roller bearing*. Material ini memiliki persyaratan mekanik yang harus dipenuhi agar dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya, mulai dari kekerasan hingga ketangguhan. Persyaratan mekanik yang tinggi, khususnya nilai kekerasan harus dipertahankan selama operasi agar *bearing* dapat berfungsi dengan baik.

Bearing pada praktiknya terpasang pada poros dengan suaiaan yang ketat, sehingga dilakukan pemanasan dengan *torch* untuk melepaskan atau memasang *bearing*. Seringkali temperatur *torch* yang dipakai di lapangan tidak terkontrol dengan baik sehingga dapat mengakibatkan perubahan struktur mikro dan penurunan kekerasan *bearing*, lebih jauh lagi kegagalan *bearing*. Penelitian ini akan mempelajari tentang pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap kekerasan pada material *Ball Bearing* JIS G4805 SUJ 4, sehingga dapat memprediksi temperatur pemanasan jika nilai kekerasannya diketahui.

MATERIAL DAN METODE

Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *inner bearing* JIS G4805 SUJ 4 yang telah gagal dan yang masih bagus.

Metode

a. Perlakuan Panas Fabrikasi

Sampel *bearing* JIS G4805 SUJ 4 dipanaskan pada temperatur austenisasinya (850°C) selama 2 jam. Untuk meningkatkan kekerasan material *bearing* JIS G4805 SUJ 4 setelah dipanaskan, material didinginkan cepat dalam oli. Setelah itu material dipanaskan (*tempering*) pada temperatur 170°C selama 2 jam untuk meningkatkan keuletannya. Setelah dilakukan *tempering*, material didinginkan di udara (*air cooling*).

b. Simulasi Pemanasan

Untuk mensimulasikan pemanasan yang dilakukan pada material *bearing*, dilakukan pemanasan pada variasi temperatur berikut:

1. *Tempering* pada temperatur 150°C selama 2 jam
2. *Tempering* pada temperatur 250°C selama 2 jam
3. *Tempering* pada temperatur 350°C selama 2 jam.

Setiap sampel didinginkan dengan di udara.

8 November 2017

c. Pengamatan Mikroskop Optik

Struktur mikro sampel diamati menggunakan mikroskop optik di Laboratorium Teknik Metalurgi dan Material ITB yang memiliki lensa objektif dari 5x-100x. Untuk mengetahui struktur mikro dilakukan tahap-tahapan berupa: Pemotongan, *monting*, *grinding*, *polishing*, etsa, dan pengamatan struktur mikro. Untuk etsa yang digunakan adalah:

1. Nital [4]

HNO₃ 2 mL + ethanol 98 mL

Selama 7 detik.

2. Picral [4]

5 g picric acid + 100 mL ethanol

Selama 10 detik.

d. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan sampel dilakukan dengan mesin uji keras Rockwell. Pengujian dilakukan menggunakan standar *Hardness Rockwell C* dengan beban sebesar 150 kg dan *indenter diamond* [2].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi

a. Karakterisasi Awal

Sampel *as-received* dikarakterisasi menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk mengetahui komposisi paduan. Data yang diperoleh dari uji OES dapat dilihat dalam Tabel

1.

Tabel 1. Perbandingan Antara Standar dan Hasil OES

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Standar JIS G4805 SUJ 4 [3]	0,95- 1,10	0,15- 0,35	0,50 max	0,025 max	0,025 max	1,30-1,60	0,10-0,25
Hasil OES	0,991	0,238	0,35	0,009	0,002	1,28	0,023

Dari data komposisi tersebut, maka dapat dikategorikan bahwa material *bearing* termasuk kedalam baja karbon tinggi dan memenuhi spesifikasi standar JIS G4805 SUJ-4

b. Pengamatan Visual

Sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut, sampel *as-received* diamati secara visual. Gambar 1 menunjukkan sampel *as-received* yang dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 1. Sampel inner race bearing

Dari gambar 1 dapat dilihat bahwa telah terjadi pemanasan yang menyebabkan bagian dari *inner race bearing* berwarna gelap.

c. Nilai Kekerasan As-Received

Sampel *bearing as-received* memiliki kekerasan sebesar 21 HRC yang hampir sama dengan kekerasan sampel awal sesuai standar JIS G4805 SUJ 4 sebelum mengalami perlakuan panas yaitu 20 HRC [3]. Menurut standar JIS G4805 SUJ4, kekerasan material bearing setelah perlakuan panas adalah 58-65 HRC.

Perbedaan kekerasan ini disebabkan akibat terjadinya pemanasan terhadap bagian *inner race bearing*. Pemanasan tersebut menyebabkan nilai kekerasan material *bearing* lebih kecil dari standar fabrikasi (58-65 HRC) dan hampir mencapai kekerasan material sebelum dilakukan perlakuan fabrikasi (20 HRC). Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan material telah mengembalikan kekerasan material ke bentuk semula.

d. Struktur mikro As-Received

Material yang digunakan pada penelitian berasal dari *inner race bearing* sebuah pompa hidrolis. Sampel dipanaskan pada temperatur austenisasi sekitar 850°C. Berdasarkan diagram fasa Fe - Fe₃C, pada temperatur ruang struktur mikro yang akan terbentuk adalah *pearlite* dan *cementite*.

8 November 2017

Gambar *inner race bearing* (gambar 2a) menunjukkan bagian yang mengalami pemanasan dan berwarna gelap. Bagian dalam dilakukan pemotongan *cross section* (gambar 2b) untuk mengetahui struktur mikro pada beberapa bagian tertentu.

a) Permukaan luar *inner race bearing*(b) permukaan *cross section***Gambar 2.** *Inner race bearing*

Gambar 3 menunjukkan 3 bagian yang memiliki warna yang berbeda. Pada bagian 1 warna cenderung lebih gelap, sedangkan pada bagian ke 2 memiliki warna yang lebih terang namun terlihat bagian yang agak gelap. Pada bagian 3, daerah ini terlihat material tidak terlalu terpengaruh oleh pembakaran.

**Gambar 3.** Pembagian Daerah *Inner Race Bearing*

Dari gambar struktur mikro, terlihat daerah 1 bahwa butir-butir cenderung lebih besar dibandingkan dengan butir-butir pada daerah 2 dan 3. Fasa yang terbentuk merupakan fasa *pearlite* dan *sementite*, hal ini disebabkan oleh pemanasan di bagian permukaan sehingga membuat butir pada bagian permukaan membesar. Jika membandingkan dengan daerah 2, butir cenderung lebih halus karena efek pemanasan tidak mempengaruhi butir pada bagian ke 2 dengan fasa yang sama. Pada daerah ke 3, butir-butir terlihat lebih halus dari bagian ke 1 dan 2 dan terdapat karbida, hal ini menunjukkan pada bagian ke 3 tidak terpengaruh oleh pemanasan.

Ketiga struktur mikro pada bagian sampel *bearing as-received*, menunjukkan bahwa akibat pemanasan yang tinggi, material yang seharusnya memiliki struktur mikro *martensite* dan karbida telah berubah menjadi *pearlite* dan sementit. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan terhadap sampel *bearing as-received* menghilangkan fasa martensit dan mengembalikannya ke fasa yang sesuai dengan fasa yang terbentuk pada temperatur ruang.

Pemanasan yang dilakukan menggunakan *torch oxyacetylene* diperkirakan telah melebihi temperatur austenisasinya, hal ini diperkuat dengan temperatur yang dapat dicapai oleh *flame* dari *torch oxyacetylene*.

e. Data dan Analisis Sampel Perlakuan Panas Fabrikasi

Untuk mengetahui struktur mikro yang terbentuk dari material hasil proses fabrikasi untuk aplikasi *bearing*, maka dilakukan simulasi yang disesuaikan dengan proses fabrikasi sebagai berikut:

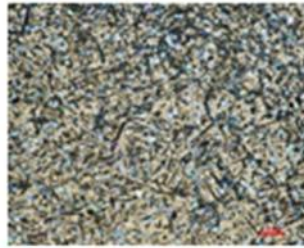
1. Sampel *bearing* JIS G4805 SUJ 4 dipanaskan pada temperatur austenisasinya (850°C) selama 2 jam
2. Untuk meningkatkan kekerasan sampel *bearing* JIS G4805 SUJ 4 setelah dipanaskan, sampel didinginkan cepat dalam oli
3. Setelah didinginkan cepat, sampel dipanaskan kembali (*tempering*) pada temperatur 170°C selama 2 jam untuk meningkatkan keuletannya dan didinginkan di udara

f. Nilai Kekerasan Spesimen Fabrikasi

Setelah dilakukan perlakuan fabrikasi, spesimen di uji keras. Jika menurut standar kekerasan yang didapat adalah sekitar 58-65 HRC. Pada hasil pengujian kali ini kekerasan rata-rata yang didapat adalah 57 HRC, sehingga telah mendekati spesifikasi.

Struktur Mikro Spesimen Fabrikasi

Berdasarkan hasil perlakuan fabrikasi, seharusnya struktur mikro yang muncul adalah martensit dan karbida. Berikut gambar struktur mikro hasil perlakuan panas dan dicelupkan dalam oli.



Gambar 4. Struktur Mikro Hasil Perlakuan Fabrikasi

Pada Gambar 4 terlihat dengan jelas bahwa terbentuk fasa martensit, hal ini ditunjukkan dengan adanya struktur yang tajam-tajam. Diantara struktur *martensite* tersebut terdapat karbida yang cenderung berbentuk bulat-bulat.

Pada Gambar 4 terlihat terbentuknya karbida. Terbentuknya karbida yang berukuran relatif besar membuat terjadinya penurunan kekerasan dan meningkatnya keuletan, hal ini disebabkan fraksi volum martensit yang berkurang sehingga menurunkan kekerasan material tersebut.

Data dan Analisis Spesimen Perlakuan Variasi Temperatur Pemanasan

Material yang telah dilakukan perlakuan fabrikasi, dilanjutkan dengan perlakuan panas dengan beberapa variasi temperatur pemanasan. Hal ini dilakukan untuk mensimulasikan pemanasan yang dilakukan terhadap material *bearing* akibat pemanasan oleh *torch*.

Simulasi pemanasan pertama dilakukan dengan 3 variasi temperatur berbeda yaitu 150°C, 250°C, dan 350°C. Temperatur yang digunakan, digunakan untuk memenuhi 3 jenis tahap *tempering* [1], Simulasi pemanasan dilakukan selama 2 jam.

Simulasi Pemanasan:

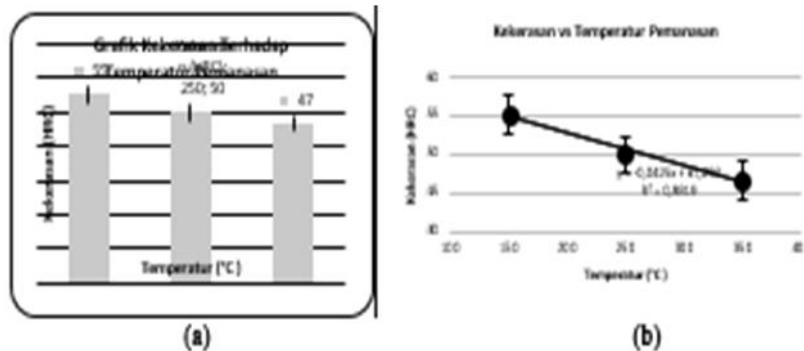
- a. *Tempering* pada temperatur 150°C selama 2 jam
- b. *Tempering* pada temperatur 250°C selama 2 jam
- c. *Tempering* pada temperatur 350°C selama 2 jam

Dilanjutkan dengan pendinginan di udara bebas (*air cooling*), hal ini dilakukan untuk mensimulasikan pendinginan di pabrik.

8 November 2017

Nilai Kekerasan

Setelah dilakukan pemanasan, masing-masing spesimen dengan temperatur pemanasan yang berbeda diuji keras menggunakan pengujian keras metoda Rockwell C. Didapatkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada temperatur pemanasan 150°C, 250°C, dan 350°C adalah 55, 50, dan 47 HRC.

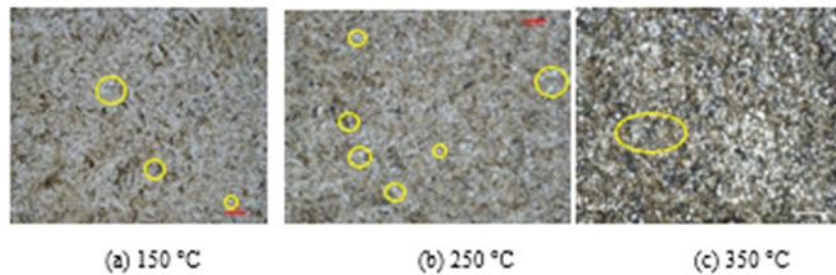


Gambar 5. (a) Grafik Kekerasan Terhadap Temperatur Pemanasan, dan (b) Regresi Linear Nilai Kekerasan dan Temperatur Pemanasan

Dari data diatas, didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan menghasilkan nilai kekerasan yang semakin rendah. Nilai kekerasan dan temperatur pemanasannya dibuat persamaan regresi yang menghubungkan nilai kekerasan dengan temperatur pemanasan sebagai variabel fungsinya. Maka didapatkan persamaan $Y = (-0,0425x + 61,292)$. Y sebagai nilai kekerasan dan X sebagai temperatur pemanasan. Sesuai dengan gambar 5(b).

Struktur Mikro

Setelah dilakukan pengujian keras terhadap setiap sampel yang memiliki temperatur pemanasan yang berbeda-beda, dilakukan karakterisasi struktur mikro untuk menunjukkan penyebab perbedaan kekerasan antara masing-masing sampel. Berikut data struktur mikro masing-masing sampel:



Gambar 6. Struktur Mikro Temperatur Pemanasan 150°C, 250°C, dan 350 °C.

Pemanasan pada temperatur 250°C menghasilkan struktur *tempered martensite* dan terdapat karbida halus berbentuk bulat. Pemanasan pada temperatur 250°C menghasilkan fasa *tempered martensite* dan karbida yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan gambar 7a. Gambar 7c adalah hasil pemanasan pada temperatur 350°C, terbentuk *tempered martensite* dan karbida berukuran relatif besar dan tersebar di semua bagian dari struktur mikro. Dari ketiga gambar diatas bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan semakin banyak karbida yang terbentuk dan ukuran partikel karbida semakin besar dan mengakibatkan turunnya nilai kekerasannya. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur pemanasan membuat semakin banyak terbentuk karbida berukuran besar yang menyebabkan menurunnya fraksi volum martensite.

Simulasi Persamaan

Dari simulasi pemanasan didapatkan persamaan $Y = (-0,0425x + 61,292)$ menghubungkan antara kekerasan material dan temperatur pemanasan. Untuk memastikan kesesuaian persamaan diatas, dilakukanlah perbandingan antara perhitungan kekerasan menggunakan persamaan dan menggunakan percobaan secara langsung.

1. Menggunakan hubungan kekerasan dan temperatur pemanasan

Temperatur pemanasan = 850°C

$$Y = -0,0425X + 61,292$$

Keterangan:

Y = kekerasan (HRC)

X = Temperatur pemanasan (°C)

Dengan menggunakan persamaan diatas, akan didapat nilai kekerasan sebesar 25 HRC setelah pemanasan pada 850 °C.

2. Menggunakan Percobaan pemanasan secara langsung

Pada percobaan kali ini dilakukan pemanasan dengan teknis pelaksanaan sebagai berikut:

Temperatur pemanasan = 850°C

Lama Pemanasan = 2 jam

Pendinginan = *air cooling*

Pengujian keras dilakukan sebanyak 9 kali dan didapatkan rata-rata nilai kekerasannya adalah 30 HRC.

Dari data diatas didapatkan bahwa nilai kekerasan yang didapat menggunakan persamaan dan percobaan secara berturut-turut adalah 25 dan 30 HRC. Walaupun terdapat perbedaan antara keduanya, tapi hal ini menunjukkan bahwa persamaan ini berpotensi dimanfaatkan untuk memprediksikan kekerasan walaupun terdapat perbedaan sekitar 5 HRC.

Dari percobaan diatas juga didapatkan terjadinya perubahan struktur mikro akibat pemanasan pada temperatur 850°C selama 2 jam. Pada gambar 8 terlihat bahwa pemanasan pada temperatur 850°C membuat fasa martensite yang terbentuk dari hasil fabrikasi telah berubah kembali menjadi *pearlite*.



Gambar 7. Struktur Mikro Hasil Pemanasan 850 °C, pendinginan udara

Hal ini ditunjukkan dengan garis-garis yang merupakan ciri khas *pearlite*, dan terdapat partikel bulat berwarna putih yang merupakan karbida dan terbentuk akibat pemanasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian, menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan pada sampel *bearing* JIS G 4805 SUJ 4 maka kekerasan sampel tersebut juga semakin turun. Hal ini didukung dengan persamaan antara nilai kekerasan dan temperatur pemanasan berikut:

$$Y (X) = (-0,0425 X) + 61,292$$

Keterangan:

Y = Nilai Kekerasan (HRC)

X = Temperatur Pemanasan (°C)

Persamaan ini dapat dipakai untuk memprediksi temperatur yang pernah diterima oleh *bearing* berdasarkan data kekerasannya, yang dapat dipakai dalam analisa kegagalan *bearing*.

Struktur mikro yang terbentuk pada sampel fabrikasi adalah *martensite* dan karbida. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka jumlah karbida yang terbentuk semakin banyak. Pada temperatur pemanasan 850°C, struktur mikro *martensite* telah hilang dan berubah seluruhnya menjadi *pearlite* dan sementit.

REFERENSI

ASM. (2004). *Metal Handbooks* (pp. 899-917) in *ASM Microstructure* (Volume 04.). ASM International.

ASTM Standard E 18. *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*.

Japan International Standards. (2008). *High carbon chrome bearing steel steel material* (JIS G 4805 SUJ 4/ ISO / DIS 683-17: 1997). Japan..

Vandervoort, G. F. (1999). *Metallography: Principles and Practice*. USA: ASM International.

Analisa Kegagalan Pipa Radiator Paduan Tembaga Pada Generator Diesel Cadangan Akibat Dezinifikasi

Husaini Ardy^{1,A)}, & Aditianto Ramelan¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi
Bandung, Bandung. ^{a)}husaini@material.itb.ac.id

ABSTRACT

Emergency diesel generator is a back-up power generator that only put in service intermittently when the main turbine was not in service. Therefore, the emergency diesel generator is mostly under idle condition. Failure of radiator tube was observed during routine inspection. The result of chemical analysis by optical emission spectroscopy shows that, radiator tube material is cartridge brass. The leak occurred at the area where brass material has changed to pure copper (reddish color). Brass material can change to pure copper because of dezincification phenomena, where zinc atoms are leached out from the brass and left the remaining porous (sponge) and weak copper. Based on laboratory examinations it can be concluded that the root cause of radiator tube failure is the use of inappropriate (underspecification) material. The existing material is cartridge brass (UNS C26000) which is prone to localized dezincification in the respective working conditions (stagnant alkaline water and some time exposed to high temperature). Failure is initiated by dezincification of the brass tube which left the porous (spongy) and weak material of copper. Dezincification started from the inner side of tube and propagates to the outside. The impact load (deformation) by foreign object or mishandling will trigger the leak because material has lost its strength at those locations.

Keywords: Radiator tube, cartridge brass, dezincification

PENDAHULUAN

Generator listrik cadangan merupakan salah satu peralatan utilitas yang selalu ada untuk mengantisipasi kegagalan pada sumber tenaga listrik utama (turbin). Generator ini sebagian besar berada dalam kondisi diam (*idle*) dan hanya dioperasikan secara berkala dalam waktu singkat untuk pemanasan mesin dan tanpa beban. Walaupun sebagian besar dalam kondisi diam, ternyata ditemukan kegagalan pada pipa radiator pada waktu dilakukan tes tekanan. Radiator ini mempunyai 340 pipa, 74 diantaranya mengalami kebocoran pada waktu dilakukan uji tekanan (2-3.5 bar).

Makalah ini akan menjelaskan tentang hasil pemeriksaan laboratorium untuk dan penyebab kebocoran pada pipa radiator. Kebocoran pada pipa radiator dapat disebabkan oleh erosi, tekanan berlebih, kegagalan pada sambungan solder, korosi akibat proses elektrolisa, dan korosi akibat adanya deposit [1].

Dua buah sampel pipa radiator akan diperiksa di laboratorium untuk menentukan penyebab kegagalannya. Pemeriksaan yang akan dilakukan mencakup pemeriksaan visual, identifikasi material pipa, analisa permukaan daerah bocor, dan struktur mikro.

MATERIAL DAN METODE

Sampel Pipa Radiator

Sampel pipa radiator yang akan dianalisa dapat dilihat dalam Gambar 1. Sampel ini merupakan dua potongan dari pipa-pipa radiator. Melihat dari warnanya maka kemungkinan besar material pipa radiator adalah paduan tembaga.



Gambar 1. Sampel pipa radiator untuk pemeriksaan laboratorium

METODE PENELITIAN

Identifikasi Material

Identifikasi material pipa radiator dilakukan dengan menggunakan alat *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) yang merupakan bagian dari *Scanning Electron Microscope* (SEM). Identifikasi dengan metoda *EDS* diterapkan karena ukuran sampel yang tidak mencukupi untuk analisa dengan alat *optical emission spectroscope* (OES).

Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual daerah yang bocor dilakukan dengan menggunakan kamera dengan lensa makro.

Struktur Mikro

Struktur mikro material pada beberapa lokasi bocor akan diamati menggunakan mikroskop optik dan *SEM*.

Analisa Permukaan Patah

Analisa permukaan patah di lokasi kebocoran dilakukan dengan menggunakan *SEM*.

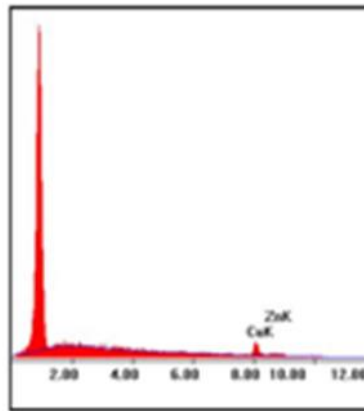
HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Material

Hasil identifikasi material dengan menggunakan *EDS* dapat dilihat dalam Tabel 1. Dari semua paduan Cu-Zn yang sudah distandarkan, material pipa radiator sangat mendekati komposisi *cartridge brass* (UNS C26000) [2].

Tabel 1. Komposisi Kimia Pipa Radiator (% berat)

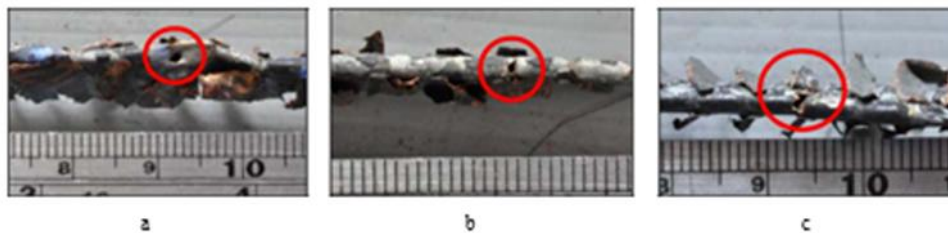
Unsur	Hasil Uji	Spesifikasi Cartridge Brass (UNS C26000)
Cu	74.66	68.5 - 71.5
Zn	25.34	Balance
Pb	---	0.07 max.
Fe	---	0.05 max.



Gambar 2. Hasil analisa EDS

Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual bertujuan untuk mengetahui lokasi kebocoran pada sampel pipa radiator dan efek deformasi plastis akibat beban mekanik. Gambar 1 menunjukkan tiga lokasi bocor pada sampel pipa yang diperiksa. Gambar 3a menunjukkan adanya bekas deformasi plastis pada pipa radiator, sedangkan dua lokasi lainnya tidak menunjukkan bekas deformasi plastis.



Gambar 3. Kebocoran pada pipa radiator

Struktur Mikro

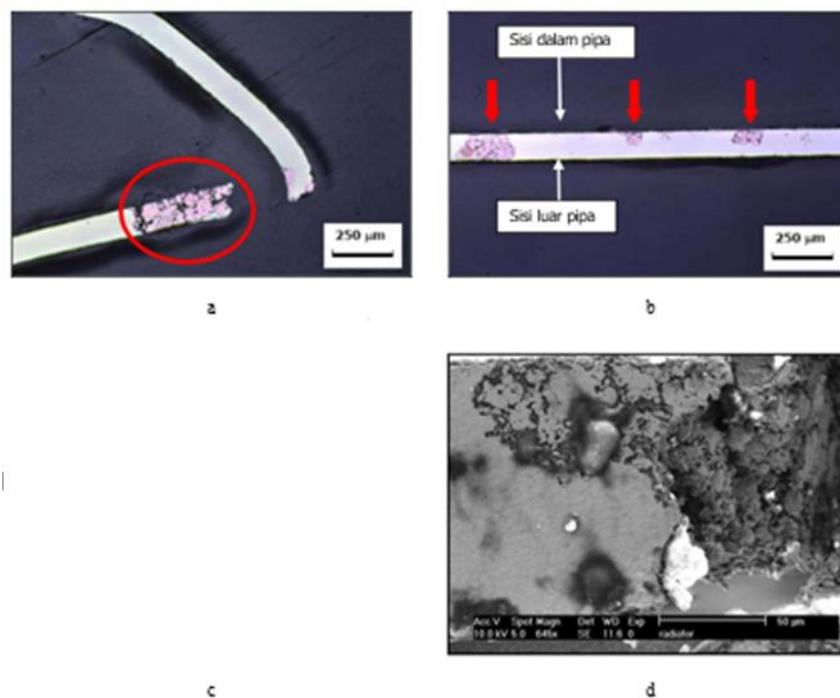
Gambar 4a menunjukkan gambar mikroskop optik pipa radiator dalam kondisi tanpa etsa di lokasi bocor. Dapat dilihat bahwa kebocoran terjadi pada lokasi dimana material *cartridge brass* telah berubah menjadi tembaga murni (warna kemerahan). Material *cartridge brass* dapat berubah menjadi tembaga murni akibat dari terlepasnya atom seng dari paduan dan meninggalkan bekas berbentuk rongga (*sponge*). Peristiwa ini disebut sebagai dezinifikasi (*dezinfication*).

8 November 2017

Gambar 4b menunjukkan lokasi lain pada pipa radiator yang tidak bocor. Dapat dilihat bahwa dezinfikasi mulai terjadi dari permukaan dalam dan merambat ke permukaan luar.

Gambar 4c adalah struktur mikro pipa radiator yang telah dietsa di sekitar daerah yang mengalami dezinfikasi Butir *cartridge brass* sangat halus akibat pengerolan dingin dan anil. Terlihat jelas rongga-rongga akibat terlepasnya atom seng dari paduan.

Gambar 4d adalah struktur mikro SEM pipa radiator yang menunjukkan dengan jelas perbedaan antara bagian yang mengalami dezinfikasi dan yang masih utuh. Porositas akibat dezinfikasi juga terlihat jelas.



Gambar 4. Struktur mikro pipa

Dezinfikasi atau de-alloying adalah salah satu jenis korosi dimana logam yang lebih aktif akan terlepas dari paduan yang meninggalkan logam murni. Material *brass* murni (paduan Cu-Zn) sangat rentan terhadap proses dezinfikasi ketika kandungan seng lebih besar dari 15% [2]. Dalam hal ini, atom-atom seng akan terlepas dari *cartridge brass* dan meninggalkan porositas serta material tembaga yang lebih lemah. Proses dezinfikasi akan merambat dan menyebabkan fluida yang ada didalam pipa bisa keluar melalui porositas yang terbentuk.

Dezinfikasi pada material *brass* murni seperti *cartridge brass* (UNS C26000) terjadi setelah berkontak dalam waktu lama dengan air yang banyak mengandung oksigen dan karbon dioksida; dan banyak ditemukan pada fluida yang diam atau bergerak lambat.

Dezinfikasi dapat terjadi secara seragam ataupun lokal. Dezinfikasi seragam terjadi ketika material berkontak dengan air yang mengandung asam lemah, kandungan garam rendah, dan temperatur kamar. Dezinfikasi lokal akan terjadi ketika material berkontak dengan air yang bersifat netral atau basa, kandungan garam tinggi, dan temperatur tinggi. Kebocoran pipa radiator disebabkan oleh dezinfikasi lokal karena air radiator bersifat basa, lebih banyak diam, dan sewaktu-waktu mengalami pemanasan.

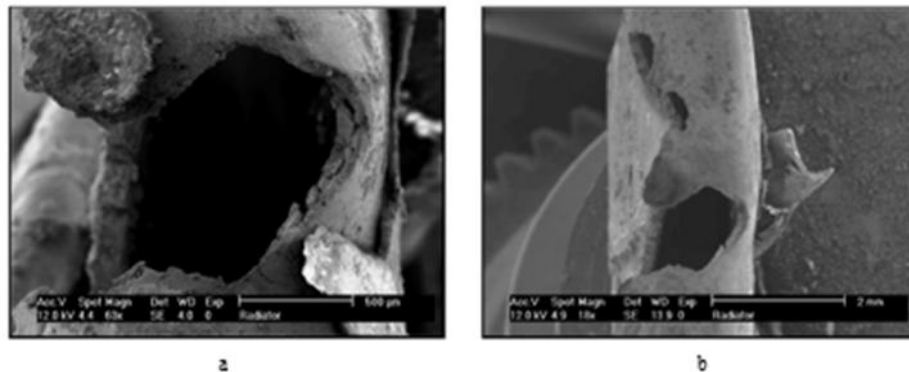
Dezinfikasi dari material *cartridge brass* dapat dihindari dengan penambahan unsur paduan lain seperti timah putih, posfor, arsenikum, atau antimony. *Cartridge brass (un-modified brass, UNS C26000)* tidak direkomendasikan untuk pemakaian dimana lingkungannya dapat menyebabkan dezinfikasi. Tabel 2 menunjukkan beberapa jenis material *cartridge brass* yang telah dimodifikasi dan dianjurkan sebagai material pipa radiator untuk generator cadangan.

Tabel 2. Komposisi Kimia dari beberapa jenis Brass (%) [3]

Unsur	UNS C26000	UNS C44300	UNS C44400	UNS C44500
Cu	68.5 - 71.5	70 - 73	70 - 73	70 - 73
Sn	---	0.9 - 1.2	0.9 - 1.2	0.9 - 1.2
Pb	0.07 max.	0.07 max.	0.07 max.	0.07 max.
Fe	0.05 max.	0.06 max.	0.06 max.	0.06 max.
Zn	Balancc	Balancc	Balancc	Balancc
As	---	0.02 - 0.10	---	---
Sb	---	---	0.02 - 0.10	---
P	---	---	---	0.02 - 0.10

Analisa Permukaan daerah Bocor

Analisa permukaan di sekitar daerah yang bocor dilakukan menggunakan SEM untuk mengetahui ada tidaknya penipisan dinding sebelum bocor. Gambar 5 adalah foto SEM dari dua lokasi kebocoran. Dapat dilihat bahwa daerah bocor mengalami deformasi plastis dan tidak terjadi penipisan dinding. Sumber deformasi plastis tersebut tidak dapat ditelusuri, kemungkinan besar terjadi pada saat *handling*. Tidak adanya penipisan dinding di sekita lubang kebocoran menandakan bahwa kebocoran tersebut tidak disebabkan oleh korosi atau erosi bagian dalam pipa.



Gambar 5. Foto SEM pada lokasi pipa radiator yang bocor

Mekanisme Kegagalan

Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium, dapat disimpulkan bahwa penyebab bocornya pipa radiator generator cadangan adalah kesalahan dalam pemilihan material. Material yang digunakan saat ini adalah *cartridge brass* murni (UNS C26000) yang sangat rentan terhadap dezinfikasi lokal pada kondisi kerjanya (air bersifat basa, diam, dan sewaktu-waktu mengalami pemanasan). Kegagalan diawali dengan dezinfikasi lokal yang dimulai dari permukaan dalam pipa, meninggalkan porositas dan material tembaga yang lemah. Air radiator dapat merembes melalui porositas dan merambat sehingga bagian yang mengalami dezinfikasi akan bocor akibat tekanan air radiator.

KESIMPULAN

1. Kegagalan pipa radiator generator cadangan disebabkan oleh kesalahan pemilihan material
2. Modus kegagalan yang terjadi adalah proses dezinfikasi lokal pada material *cartridge brass* UNS C26000
3. Material yang direkomendasikan untuk pipa radiator generator cadangan adalah *admiralty brass* (UNS C44300, C44400, atau C44500).

REFERENSI

1. <http://www.citywideradiator.com/radiator-problems/> [Diakses 10 Oktober 2014].
2. ASM International, *ASM Handbook Vol. 13 : Corrosion*, ASM International, 1988
3. ASTM International, *Annual Book of ASTM Standards Section 2, Vol. 02.01 Copper and Copper Alloys*, 1983.

The Effect Of Magnesium And SiC Addition On The Making Of Al-SiC Composite

Budi H. Setiamarga^{1,A)}, Puti K. Sudarsono^{1,B)}, & Cecep Ruskandi^{2,C)}

¹Materials Engineering Study Program, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

²Foundry Engineering Department, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung

a) budi.setiamarga@itb.ac.id b) puti_sudarsono@students.itb.ac.id c) c2p_r@yahoo.com

ABSTRACT

Aluminum is a light metal that is easily to be worn out. As wear resistance is proportional with hardness value, improving the wear resistance of aluminum can be done by adding SiC powder to the metal. In this research, the aluminum alloy was melted and mixed using stirrer with SiC powder that has been oxidized at 1050⁰C for 8 hours to improve its the wettability. As much as 1wt% magnesium was added to further improve the wettability of SiC in the alloy. It was found that the addition of magnesium improves the hardness of the material, forming Al-SiC composite. The addition of 10wt% SiC powder is proved to be optimal, while addition of 15wt% SiC did not improve its hardness significantly. The problem of porosity due to the use of stirrer is yet to be overcome.

Keywords: Al-SiC composite, magnesium addition,

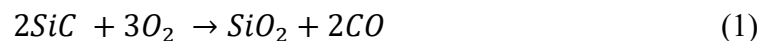
INTRODUCTION

The application of aluminum is getting more over decades. Aluminum has even been used as engine materials, such as pistons and engine blocks. However, the main disadvantage of the material is its low wear resistance. The wear resistance of the material can be upgraded by enhancing its hardness value. Thus, the aluminum is hardened by adding hard ceramic particles as the material reinforcement, such as SiC, Al₂O₃, and WC, making it Aluminum Matrix Composite (AMC). The hardness of aluminum is around 2.7 Mohs scale, while SiC is 9.5 Mohs scale. Ignoring the porosity and following the rules of mixture of composite materials, the hardness of the AMC should be greater than aluminum.

AMC has a wide range of application in engineering. The material still maintains its light-weight but with improved hardness, strength, stiffness, and lower thermal expansion. It has been commonly used in aerospace, automotive, and any other industrial products. Compared with other kinds of reinforcement, particle reinforcement in MMC shows several advantages, such as higher wear resistance, more isotropic properties, and easier for further processing.

Aluminum Matrix Composite can be made by several methods, but the cheapest one is by stir-casting process. In stir-casting process, SiC powder is introduced to the molten aluminum alloy and stirred to facilitate the particle distribution. Although SiC has larger density compared to aluminum, SiC particles tend to agglomerate and float on surface of the molten aluminum due to high surface tension of the molten aluminum. In order to overcome it, molten aluminum should be stirred to break the surface tension during SiC addition so that the particles will not float on the surface.

The main obstacle of the AMC making process is the low wettability of SiC powder with molten aluminum that causes segregation. ^[1] Therefore, chemical bonding between aluminum matrix and SiC reinforcement is necessary. The oxidation of the SiC powder causes the formation of SiO₂ phase layer on the surface of each particle according to the following reaction. SiO₂ phase provides better wettability to the molten aluminum compare to the SiC phase.



The addition of magnesium powder into the AMC to promote wettability has been studied. It causes spinel (MgAl₂O₄) formation around the interface that causes a stronger matrix and the reinforcements bonding. ^[2] Besides, spinel presence may also boost the hardness value of the material as it has relatively high hardness value. ^[3]

MATERIALS AND EXPERIMENTAL METHOD

Materials

The aluminum alloy used for matrix in this research has the alloy composition of 0.03% Fe – 0.8% Cu – 0.03% Mn – 3.03% Mg – 0.8% Zn – 0.25% Ti – Al(bal) (wt%) as a result of the EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) measurement. The EDS measurement was done at Laboratory of Hydro-Geology and Hydro-Geochemistry, Faculty of Mining and Petroleum Engineering, ITB.

8 November 2017

The reinforcement for the composite was SiC powder, grit 220 with diameter of 102 μ m. Magnesium for the study was in the form powder with $\geq 98.5\%$ purity. To modify the wettability, SiC powder for the experiment was heated to 1050 $^{\circ}$ C in the furnace and held for 8 hours. From the heating, SiO₂ layer on the surface of each particle is expected to form.

Controlled Specimens

Controlled specimens were prepared as controlled variables in the experiment. To determine the effect of SiC powder and magnesium to hardness value of the cast products, it is important to know the initial hardness of the as cast materials. Therefore, two aluminum alloy blocks were re-melted with a crucible in 650 $^{\circ}$ C electric furnace.

One of the melted blocks was directly poured into the steel mold, making it to be ‘the recast specimen’. The recasting was purposed to find the as cast hardness of the alloy because the obtained block specimen may have experienced strain hardening due to forging or rolling in prior manufacturing process. Another melted alloy was stirred outside the furnace for several times during heating before finally poured into the steel mold, thus becoming ‘the recast-and-stirred specimen’. Both processes were done to find out the effect of stirring to the metal hardness and how significant the magnesium addition to the metal hardness regardless of the additional porosity due to stirring process. The composition and treatments of the control Aluminum specimen is shown on Table 1.

Table 1. Composition and treatments of Aluminum specimens as the control specimen

Control Specimen (CS)	SiC	Mg	Stirring
recast specimen	0 wt%	0 wt%	No
recast-and-stirred specimen	0 wt%	0 wt%	Yes

Stir-casting Process

There were four specimens to be made with various SiC and magnesium contents as presented on Table 2. Each alloy melted weighed around 300 to 350 grams. Prior to casting process, the SiC and magnesium powders were weighed in order to obtain desired end composition. Both were mixed to obtain uniform distribution.

Table 2. Composition of the AMC specimens

Specimen	SiC	Mg
Specimen 1	10 wt%	0 wt%
Specimen 2	5 wt%	1 wt%
Specimen 3	10 wt%	1 wt%
Specimen 4	15 wt%	1 wt%

Each metal alloys were put in crucibles at 700°C with closed electric furnace. After the aluminum has fully melted, the crucible was brought outside the furnace for mixing process while the furnace temperature was kept at 700°C. After the floating oxide was picked up, the oxidized SiC powders were poured gradually with the magnesium addition as needed for each specimen. The stirring process was done in order to break the surface tension of the molten aluminum. When the temperature decreased, the crucible was put back into heating furnace until the flow-ability of the molten aluminum was restored. The stirring process was then continued. The reheating and stirring process was repeated until the whole powder was mixed thoroughly. The molten AMC was then poured into 3cm-diameter and-9cm-long steel cylinder until it solidified. The stirrer used was made of stainless steel and consisted of several blades with 30cm-long rod connected to drilling machine. All the stirring process was done in the Metallurgy and Materials Laboratory, Materials Engineering Study Program, Institut Teknologi Bandung.

Characterizations

The hardness test was done in Metallurgy and Materials Laboratory, Materials Engineering Study Program, Institut Teknologi Bandung, using Rockwell A method for each specimen. The Scanning Electron Microscope (SEM) used was JSM-6510A in Laboratory of Hydro-Geology and Hydro-Geochemistry, Faculty of Mining and Petroleum Engineering, Institut Teknologi Bandung.

RESULTS AND DISCUSSION

The hardness test results are presented in Table 3. According to data, stirring process in recast-and-stirred specimen resulted in significantly lower hardness than the unstirred one. The data also shows that the SiC addition to the matrix effectively enhanced its hardness higher than as both control specimens.

Table 3. Result of hardness testing

Control Specimen	SiC	Mg	Stirring	Average Hardness
recast specimen	0 wt%	0 wt%	No	37.0 HRA
recast-and-stirred specimen	0 wt%	0 wt%	Yes	30.8 HRA
Specimen 1	10 wt%	0 wt%	Yes	39.8 HRA
Specimen 2	5 wt%	1 wt%	Yes	41.8 HRA
Specimen 3	10 wt%	1 wt%	Yes	46.4 HRA
Specimen 4	15 wt%	1 wt%	Yes	47.3 HRA

Comparisons of Hardness Values

Figure 1 shows the effect of SiC addition on the hardness of the Aluminum Matrix Composite. For benchmarking purpose (0% SiC), the recast and stirred specimen was used. It is obvious that the addition of SiC up to 15% has improved the AMC hardness. However, the significant hardness improvement only occurs up to 10% SiC addition. The hardness of 15% SiC addition did not improve significantly because of the agglomeration of SiC powder that could not be overcome upon stirring. This will make less SiC powder contributing to the increase of its hardness.

From Figure 2, it can be seen that the hardness of recast-and-stirred specimen is lower than unstirred recast specimen. This demonstrates that the effect of stirring of the melted alloy resulted in the porosity creation due to turbulence that happened upon stirring. Porosities in cast materials will definitely lower its hardness. This is a problem that is still to be overcome in the development of AMC using stir-casting process.

The effect of 1%wt Magnesium addition to the 10% SiC AMC is presented in Figure 2. Specimen with 1%wt Magnesium (specimen 3) is harder than the specimen without Magnesium addition (specimen 1). Beside improving the matrix hardness, the addition of Magnesium will improve the wettability of the SiC and Aluminum in the AMC. This will result in the increase of the interface bond strength that is very crucial for increasing the AMC hardness.

8 November 2017

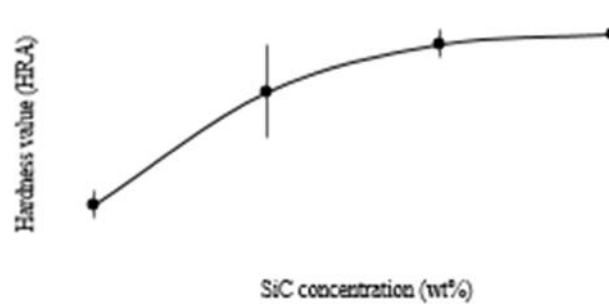


Figure 1. The effect of the SiC concentration on AMC with 1% Magnesium addition

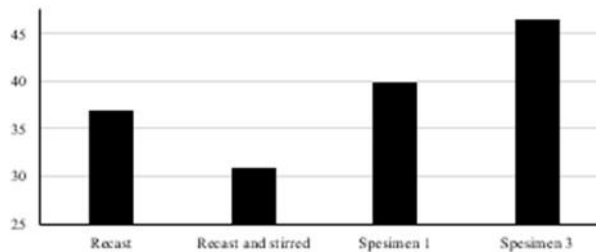


Figure 2. Hardness of specimen 2 (10wt% SiC), specimen 4 (10wt% SiC, 1wt% Mg), and control specimens

Microstructural Analysis

From the microstructure observation of the specimen without Magnesium addition (specimen 1) and with Magnesium addition (specimen 3) using the Scanning Electron Microscope, stirring during SiC powder mixing successfully distributed the SiC powder over the aluminum matrix as shown in Figure 3. Stirring breaks the surface tension in molten aluminum alloy such that the powder becomes less likely to agglomerate, even though there are some porosities on the microstructure due to casting and stirring. Better distribution of SiC particles in the aluminum matrix produces more isotropic material so that the hardness tends to be homogenous for AMC material.

Upon heating at 1050°C for 8 hours, a thin layer of Silicon Oxide (SiO_2) was to be formed at the surface of SiC powder. The SiO_2 phase on the surface of each SiC particle acts as the barrier hindering reaction between SiC and Al_2O_3 that may deteriorate the reinforcing particles forming Al_4C_3 and degrade mechanical properties of the composite. As a thin layer, SiO_2 reacts with molten alumina forming interfacial phase of Al-Si-O between them.^[5] This interfacial phase acts as the bonding between the two composite constituents, i.e. the aluminum matrix and the SiC powder.

8 November 2017

Excellent interface bonding produces optimal properties in the composite, which are the improvement of hardness and wear resistance. From Figure 3 and 4, there was no evidence of SiC particles pulled out during the preparation in the experiment. On the other hand, the experiment from Poolthong^[6] demonstrates that the unoxidized SiC particles of AMC tended to pulled out during preparation due to lack of sufficient interface bonding. To modify the interface further, magnesium powder has been introduced to specimens. Magnesium will be in the mixture forms of spinel ($MgAl_2O_4$) phase at the interface between matrix and powders. The spinel phase acts as the chemical interface bonding that holds the aluminum matrix and the SiC particles. The formation of spinel phase in the AMC can be explained by the following reactions.^[7]

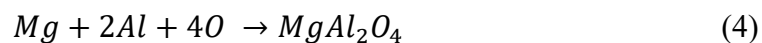
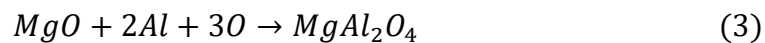
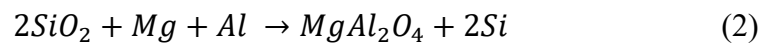


Figure 4(a) shows the SiC particle in AMC with 10%wt SiC without magnesium addition while Figure 4(b) shows SiC particle in AMC with 1% magnesium addition.

Both SiC particles are quite similar. However, there may be a formation of spinel phase at the interface which should be investigated further. The interface gap between particle and matrix that is seen in Figure 4 is suspected due to the difference in the thermal expansion properties where aluminum tends to shrink more upon cooling. The interface gap may reduce the interface bonding between the aluminum matrix and the SiC particles that may lead to the decrease in wear resistance of the AMC.

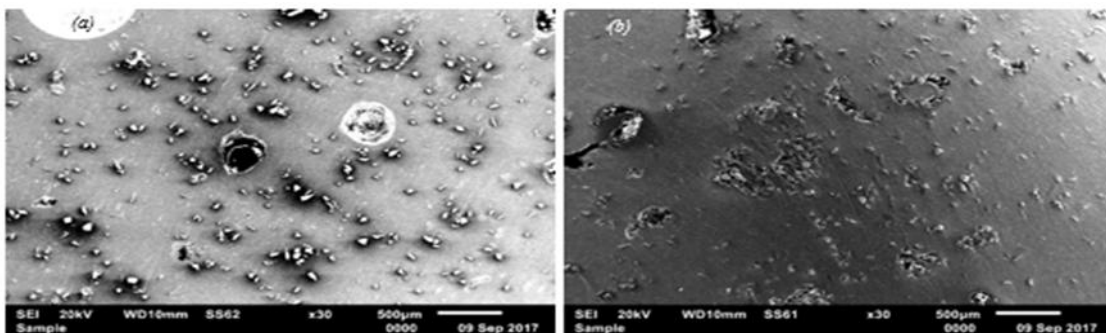


FIGURE 3 Particle distribution of specimen with 10%SiC (a) without Magnesium addition (specimen 1) and (b) with 1%wt Magnesium addition (specimen 3)

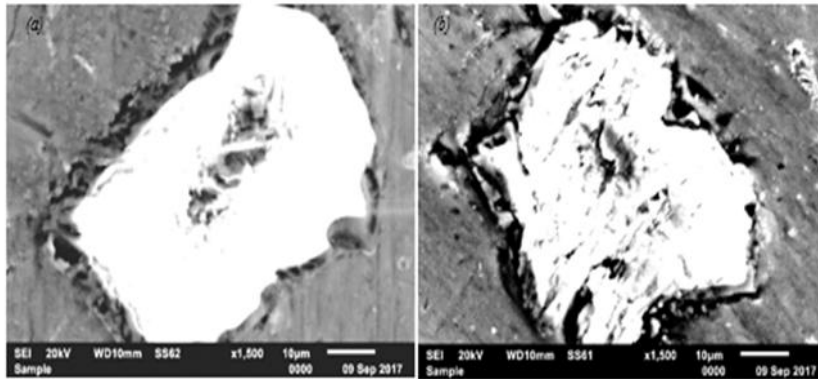


FIGURE 4 The SiC particle from the AMC (a) without Magnesium addition and (b) with 1% Magnesium addition

CONCLUSION

From the experiment, it can be inferred that the Aluminum Matrix Composite became harder as more SiC was added into the mixture. The addition of 10% SiC as the reinforcement for AMC has been proven to be optimal. The 1wt% magnesium addition to the AMC is proven to be effective in increasing the hardness of the AMC.

REFERENCES

- E. B. Kohara, "Studi Pengaruh Jenis Aluminium dan Oksidasi Serbuk SiC pada Pembuatan Al-SiC Metal Matrix Composite," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2016.
- H. Ribes, M. Suéry and G. L'espérance, "Microscopic Examination of the Interface," *Metallurgical Transactions A*, vol. 21, no. 9, pp. 2489-2496, 1990.
- S. Sukumaran, G. K. Pillai, R. M. Pillai, V. S. Kelukutty, B. C. Pai, K. G. Satyanarayana and K. K. Ravikumar, "The Effects of Magnesium Additions on The Structure and Properties of Al-7 Si-10 SiC Composites," *Journal of Materials Science*, vol. 30, p. 1469–1472 , 1995.
- D. A. Saheb, "Aluminium Silicon Carbide and Aluminium Graphite," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* , vol. 6, no. 10, p. 41 – 46, 2011.
- A. Urena, E. E. Martinez, P. Rodrigo and L. Gil, "Oxidation Treatments for SiC Particles Used as Reinforcement," *Composites Science and Technology*, vol. 64, no. 12, p. 1843–1854, 2004.
- N. Poolthong, K. Poolsawat and J. T. H. Pearce, "Enhancing Wettability of SiC in Semisolid A356 Aluminium Matrix Composite," *International Journal of Cast Metals Research*, vol. 21, no. 1–4, p. 203–209, 2008.
- N. Wang, Z. Wang dan G. C. Weatherly, "Formation of Magnesium Aluminate (Spinel) in Cast SiC," *Metallurgical Transactions A*, vol. 23A, no. 5, p. 1423 – 1430, May 1992.
- N. Chawla and K. K. Chawla, *Metal Matrix Composites*, New York, NY: Springer, 2006.

Microstructures & Impact Strength Of Nanosic-Reinforced Aluminum A356 With Sr Modifier Fabricated By Stir Casting Method

Donanta Dhaneswara^{1,a}, Farhan Delayori¹, Muhammad Tsabit Ayman¹, & Anne Zulfia Syahrial^{1b}

¹Department of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Depok 16424, Indonesia

Correspondent Author : ^adonanta.dhaneswara@ui.ac.id, ^bzulfiaanne@gmail.com

ABSTRACT

Aluminum composites have been used widely in various area of industry and had become irreplaceable to replace monolithic materials. A356-matrix composite is one of the most favorite matrix in composite making and used in many areas such as avionic, transportation, and automotive industries because of the light weight and the ability to improve its mechanical properties. The addition of silicon carbide in this work is in Nano scale and in various addition of 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, and 0.25 %Vf. The phase detected in the microstructure was α -Al, Mg₂Si, and silicon eutectic. By grain refining effect of NanoSiC addition, the grain size of α -Al decreased and got minimum size of 29.38 μ m. The porosity of the composites increased as the increasing of NanoSiC particles but still in fair limit. The addition of strontium in the A356 matrix made the morphology of silicon eutectic became fine and fibrous. The impact strength of this composite just slightly decreased as the increasing of NanoSiC because of the use of Nano scale particles and get minimum point of 0.0197 J/mm².

Keywords: Aluminum A356, NanoSiC, Modifier Sr, Microstructure, Impact Strength

INTRODUCTION

Composite materials especially Metal Matrix Composite (MMC) are getting more frequent to use in many areas like transportation and aerospace. The advantages of using MMC are because of its good mechanical and physical properties. Aluminum Matrix Composite (AMC) is one of the most popular MMC because of the relatively low cost and easiness to produce. Particle reinforced AMC still became most frequent option to make because of low cost and relatively isotropic properties [1]. Ceramic particles in matrix not only improves mechanical properties by hindering dislocation, but also by reducing grain size of α -Al. But mixing process in stir casting process still remains problem this day. Weak interface bonding caused by improper mixing process decreases mechanical properties of aluminum composite. This weak interface bonding caused by formation of Al_4C_3 layer at interface of particles and matrix.

Strong interface bonding can be created by forming $MgAl_2O_4$ (Magnesium Aluminate) thin layer around interface of particles and matrix. $MgAl_2O_4$ formation can be done by following several method like preheating of particles and addition of magnesium [2] [3]. One of the problems of aluminum composite casting products is the brittleness of casting products. The use of Nanoparticles improves mechanical properties but still maintain ductility and impact strength. The other way is by adding strontium to the matrix to improve ductility by modifies silicon eutectic structures to become fine and fibrous.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Making of A356/SiC Composite

Table 1 shows chemical composition of aluminum A356 matrix. NanoSiC particles used as reinforcement varies from 0.05 to 0.25 %vf. Pure magnesium was added as wetting agents with amount of 2 wt% while Al-15Sr was added as modifier with the amount of 0.046 wt%.

Table 1 Chemical composition of aluminum A356

5.	Si	6.	Mg	7.	Fe	8.	Cu	9.	Mn	10.	Ti	11.	Ni	12.	Al
13.	6.82	14.	0.322	15.	0.185	16.	0.0065	17.	0.0047	18.	0.119	19.	0.0098	20.	Bal

The electric furnace was set at 750 °C for the aluminum A356 to melt while NanoSiC particles were preheated at 1000 °C for 1 hour in a muffle furnace. Degassing was conducted when the aluminum was completely melted to remove the gas inside the aluminum molten. Then the slag layer produced by degassing process were removed from the surface of the aluminum molten. Magnesium and Strontium with amount of 2 wt% and 0.046 wt% respectively were added into the aluminum molten and then the stirring was conducted for 2 minutes. After that the degassing and the de-slagging were conducted again. The preheated NanoSiC particles were added into aluminum molten and followed by stirring process for 2 minutes. The composite was then poured into a permanent mold.

Characterization of A356/NanoSiC Composite

The microstructure of composites were observed with optical microscope with 200X magnification. The samples were prepared by grinding with sand paper, polishing with TiO₂ & polish cloth, and etching with keller reagent. Keller reagent has composition of 2 ml HF, 5 ml HNO₃, 3 ml HCl and 190 ml Aquadest. The samples were also observed on SEM to identify the phase in microstructure. For further analysis, XRD testing was also conducted to do phase identification. The porosity of composites were also measured with Archimedes's principle. While the impact strength of the composites were measured by impact testing using Charpy method and ASTM A370 standard.

RESULTS AND DISCUSSION

Microstructural Observation and Phase Identification of Al A356/NanoSiC Composite

The microstructure of composites were observed under microscope and shown in Fig.1. The microstructure consists of α -Al, Si eutectic and Mg₂Si phase [4]. The grain size of α -Al in the microstructure of composites became smaller as the increasing of NanoSiC particles.

8 November 2017

This was due to the role of NanoSiC particles that acts not only as the barrier of dislocation but also as nucleation site during solidification. The more NanoSiC particles added into matrix, the more nucleation sites for α -Al to solidify [5].

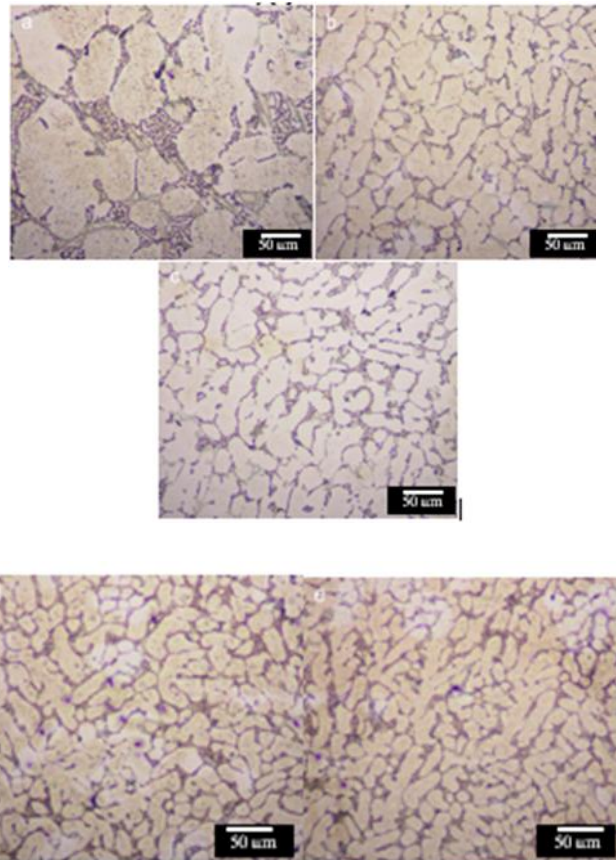


Fig.1 Optical microscope images of A356/Nano SiC composites (200x): (a) 0.05 %vf Nano SiC; (b) 0.10 %vf Nano SiC; (c) 0.15 %vf Nano SiC; (d) 0.20 %vf Nano SiC; (e) 0.25 %vf Nano SiC

XRD test was conducted on 0.25 %vf Nano SiC Composite and shown in Fig. 2(a). The phases detected in the composites were Al, Si, SiC, Mg_2Si , $MgAl_2O_4$. The presence of $MgAl_2O_4$ layer instead of Al_4C_3 creates good interface between Nano SiC and matrix. The $MgAl_2O_4$ layer on the interface of NanoSiC and matrix can be created by magnesium addition [6, 7] and preheating of Nano SiC [8, 9]. From the microstructure above, the grain size of α -Al was measured and shown in Fig.2(b). The graphic shows grain size of α -Al decreasing from 67.95 to 24.62 μm as the increasing of NanoSiC particles.

8 November 2017

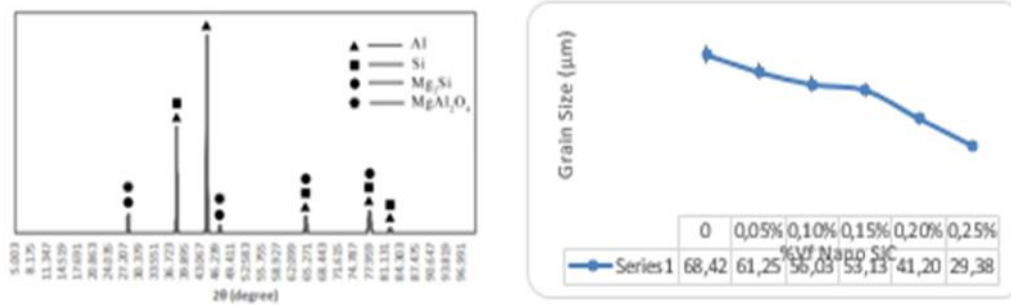


Fig.2 (a) XRD pattern of 0.25 %vf NanoSiC composite and **(b)**Effect of NanoSiC Addition on Grain Size of α -Al

Porosity and Impact Strength

The density of casting products were measured by Archimedes principles and compared to the theoretical density. From the comparison of actual density and teoritical density, the porosity percentage can be obtained and showed in Fig.3 (a).The graphic shows the porosity are increasing with increasing of NanoSiC particles. Addition of NanoSiC increases area of interface between NanoSiC and matrix. The more interface area makes the possibility of void created around interface higher and increases porosity of composite [10] [11]. The porosity of composite consists of interface porosity, gas porosity, and shrinkage porosity.Graphic in Fig. 3 (b) shows impact strength of composites. Impact strength decreasing as the increasing of NanoSiC particles. Decreasing of impact strength occurred because the addition of NanoSiC particles inhibit the movement of dislocation and restrict deformation. The restriction of deformation makes less energy can be absorbed by composites, therefore the impact strength decreased [12] [13].

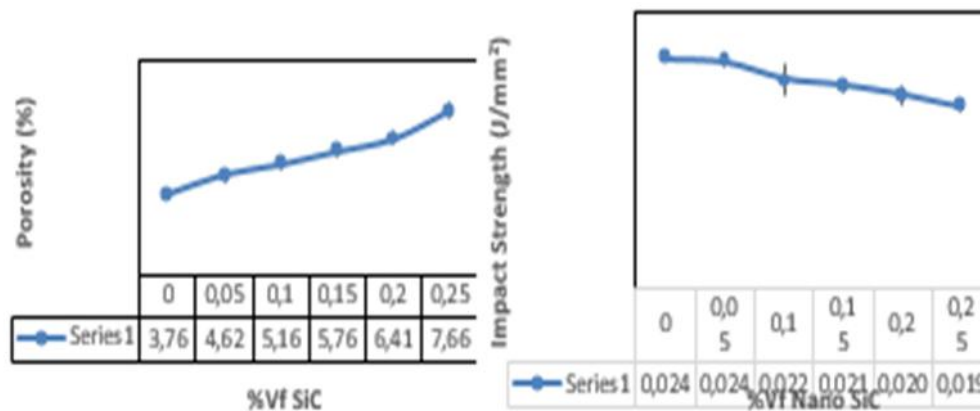


Fig.3 (a) porosity and **(b)** impact strength of composites

Effect of Strontium Addition

Long and needle like silicon eutectic structures decrease the ductility of composite, therefore the strontium were added in the matrix to makes the structure become fine and fibrous. Strontium worked by forming co-segregation of Sr-Al-Si with two mechanisms, which are (i) impurity induced twinning and (ii) restricted Twin Plane Re-entrant Edge (TPRE). The length of modified silicon phases in Fig. 4 was measured with image processing application. The silicon length measured was $6.983\mu\text{m}$ and the silicon modification level obtained was 3 based on the journal by Djurdjevic [14].

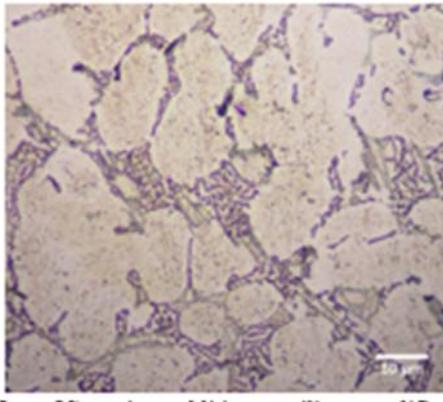


Fig.4 Effect of Strontium addition on silicon modification level

CONCLUSION

The microstructures of composites consist of α -Al, Si eutectic, Mg_2Si , and MgAl_2O_4 phase and also addition of NanoSiC particles reduces grain size and impact strength while increases porosity. It's occurred with addition of strontium reduces the size of Si eutectic phase in the microstructure of A356 composites and makes silicon eutectic fine and fibrous.

REFERENCES

1. K. K. Chawla, *Composite Materials: Science and Engineering* 3rd Edition, New York: Springer, 2012.
2. M. H. Rahman and H. M. M. A. Rashed, "Effect of Magnesium on Wear Characteristics of Silicon Carbide and Alumina Reinforced Aluminum-Metal Matrix Composites," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 5, no. 3, pp. 1210-1213, 2014
3. A. Zulfia, T. Zhakiah, D. Dhaneswara and S. , "Characteristics of Al-Si-Mg Reinforced SiC Composites Produced by Stir Casting Route," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 202, no. 012089, 2017.
4. Y. Kaygisiz and N. Marasli, "Microstructural, mechanical and electrical characterization of directionally solidified Al-Si-Mg eutectic alloy," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 618, p. 197-203, 2015.
5. A. Mazahery and M. O. Shabani, "Characterization of cast A356 alloy reinforced with nano SiC composites," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 22, pp. 275-280, 2012.
6. F. Delannay, L. Froyen and A. Deruyttere, "The Wetting of Solids by Molten Metals and Its Relation to the Preparation of Metal-Matrix Composites," *Journal of Materials Science*, vol. 22, no. 1, pp. 1-16, 1987.
7. J. Hasmin, L. Looney and M. Hashmi, "The Enhancement of Wettability of SiC Particles in Cast Aluminium Matrix Composites," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 119, no. 1-3, pp. 329-335, 2001.
8. B. Krishnan, M. Surappa and P. Rohatgi, "The UPAL Process: A Direct Method of Preparing Cast Aluminium Alloy-Graphite Particle Composites," *Journal of Materials Science*, vol. 16, no. 5, pp. 1209-1216, 1981.
9. P. Rohatgi, R. Asthana and S. Das, "Solidification, Structures, and Properties of Cast Metal-Ceramic Particle Composites," *International Metals Reviews*, vol. 31, no. 1, pp. 115-139, 1986.

10. S. N. Aqida, M. I. Ghazali and J. Hashim, "Effects Of Porosity On Mechanical Properties Of Metal Matrix Composite: An Overview," *Jurnal Teknologi*, vol. 40, pp. 17-32, 2004.
11. F. Akhlagi, A. Lajevardi and H. M. Maghanaki, "Effects of casting temperature on the microstructure and wear resistance of compocast A356/SiCp composites: a comparison between SS and SL routes," *Journal of Materials Processing Technology*, Vols. 155-156, pp. 1874-1880, 2004.
12. A. R. I. Kheder, G. S. Marahleh and D. M. K. Al-Jamea, "Strengthening of Aluminum by SiC, Al₂O₃ and MgO," *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 5, no. 6, pp. 533 - 541, 2011.
13. J. Lakshmi pathy and B. Kulendran, "Reciprocating Wear Behaviour Of 7075 Al/SiC And 6061 Al/Al₂O₃ Composites: A study Of Effect Of Reinforcement, Stroke And Load," *Tribology in Industry* , vol. 36, no. 2, pp. 117-126, 2014.
14. M. Djurdjevic, H. Jiang and J. Sokolowski, "On-line Prediction of Aluminum-Silicon Eutectic Modification Level Using Thermal Analysis," *Materials Characterization*, vol. 46, pp. 31-38, 2001.

**Pemodelan Perubahan Fasa Antara Pada Proses Reduksi Langsung Bijih Besi
Menggunakan Metode Deret Taylor**

Anistasia Milandia^{1, a)}, Maulia Angraeni^{2, a)}, & Yanyan Dwiyantri^{3, a)}

a) Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten

1) anistasia.milandia@untirta.ac.id 2) angraenimaulia@gmail.com

3) yanyan_dwiyantri@yahoo.com

ABSTRACT

Direct reduction of iron ore is a process to convert iron oxides into iron metal using gas as reductant agent. This conversion process involves gas – solid reaction simultaneously. Iron oxide reduction reaction consists of multistep reactions or intermediate reactions which is a phase change from hematite (Fe_2O_3) into magnetic (Fe_3O_4), magnetic (Fe_3O_4) into wustit phase (FeO) and the last is a phase change from wustit (FeO) into metallic Fe. Previously, mass conversion model of iron oxide reduction assumed that the intermediate oxide thickness is very thin, so the reduction reaction which is a multistep simplified into one reaction. This study will be investigated the influence of the existence of an intermediate phase on the reduction process using Shrinking Core Model approach, then carried out with mathematical equations and solved numerically using Taylor's Series method. The reaction is assumed run from the surface toward the inner spherical solid particles with a diameter of 2.0 cm. Reaction process is assumed isothermal with a temperature of 1073 K, 1123 K, 1173 K, 1223 K, 1273 K and 1373 K with a time reduction of 900, 1800 and 7200 seconds. Modeling results indicate the higher temperature also resulted in greater total conversion. At 7200 seconds with reduction temperatures 1273 K, total conversion of models reached 99%.

PENDAHULUAN

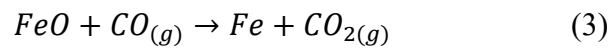
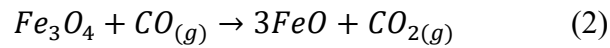
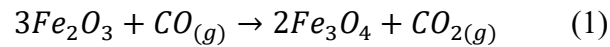
Reduksi bijih besi adalah salah satu proses yang sangat penting dalam proses pembuatan baja. Proses konversi besi oksida menjadi besi spons merupakan reaksi antara gas dan padatan (gas-solid reaction) yang melibatkan lebih dari satu gas dan padatan reduktor.

Reaksi antara gas dan padatan tergantung pada kinetika reaksi kimia dan difusi gas yang terjadi. Reaksi gas-padat mencakup persamaan, panas dan perpindahan massa, tingkat keseluruhan konversi serta persamaan laju reaksi proses reduksi tersebut (Patisson et al. 1998). Reduksi bijih besi merupakan sistem yang multi fasa dan heterogen. Reaksi kimia heterogen yang terjadi pada bidang antar muka mempunyai karakter yang akan berubah seiring dengan waktu reduksi (Manaf 2010). Oleh karena itu proses reduksi, melibatkan adanya pembentukan fasa antara (intermediate phase) dari fasa hematit menjadi besi. Penentuan keberadaan fasa antara sangat sulit diamati, karena reaksi yang dialami pada reduksi besi oksida terjadi secara bersamaan (simultan) dan ketika proses reduksi berlangsung, perubahan setiap fasanya tidak bisa diamati. Akan tetapi keberadaan intermediate phase akan sangat berpengaruh terhadap laju reaksi (Putra 2012). Beberapa penelitian yang membahas tentang pemodelan proses reduksi tersebut, mengasumsikan bahwa ketebalan dari intermediate phase tersebut sangat tipis, sehingga reaksi reduksi besi oksida tersebut diasumsikan hanya melalui satu tahap, tetapi pada kenyataannya reaksi reduksi besi oksida mengalami beberapa tahap yaitu dari hematit menjadi magnetit, magnetit menjadi wustit dan wustit menjadi besi. Oleh karena itu untuk mengakomodasi adanya pembentukan lapisan-lapisan fasa antara tersebut, digunakan Shringking Core Model (SCM) untuk mengembangkan suatu model matematika yang dapat diselesaikan secara numerik. Pada tahun 1984, Sohn mengamati pengaruh tekanan berulang pada reduksi besi dengan menggunakan beberapa persamaan matematika, persamaan yang dikembangkan Sohn memiliki kelemahan yaitu hanya dapat digunakan pada temperatur reduksi yang tinggi. Pada tahun 2012, Gilang mengembangkan tentang pemodelan matematika reduksi besi oksida menggunakan metode Euler, namun persentase kesalahan yang didapat antara percobaan dan perhitungan masih terlalu besar.

Reduksi Langsung Besi Oksida

Reduktor yang digunakan pada proses reduksi dapat berupa karbon (C), karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂). Reduktor berfungsi untuk mengikat oksigen. Secara umum, reaksi proses reduksi langsung dapat dituliskan (Sohn & Chaubal 1984):

8 November 2017

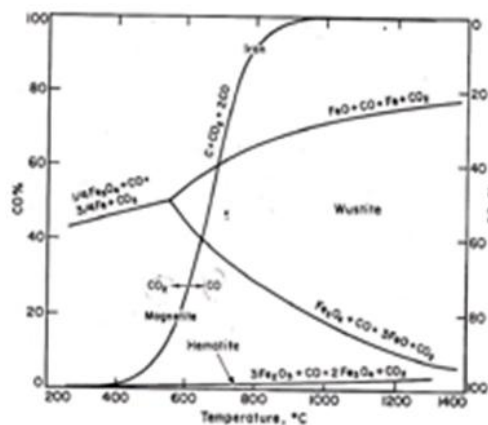


Pada proses reduksi bijih besi menggunakan reduktor batubara maka proses akan berlangsung sangat lambat, dikarenakan kontak yang terjadi tidak sempurna antara dua padatan. Pada proses ini, gas CO yang digunakan mereduksi bijih besi merupakan hasil proses gasifikasi batubara yaitu C dengan CO_2 yang dikenal dengan reaksi Boudouard. Terbentuknya gas CO, CO_2 serta reaksi Boudouard dituliskan pada persamaan (4), (5) dan (6).



Pada saat proses reduksi berlangsung akan terjadi perubahan dari senyawa hematit menjadi Fe metal maka diperlukan nilai dari kesetimbangan antara gas CO dan CO_2 , dengan mengsumsikan jumlah tekanan parsial dari CO dan CO_2 sama dengan tekanan total yaitu 1 atm (Ross 1980).

$$P_{CO_2} + P_{CO} = 1 \text{ atm} \quad (7)$$



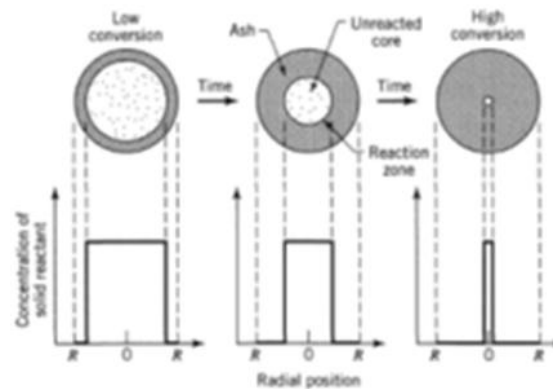
Gambar 1. Kesetimbangan komposisi gas terhadap temperatur

Menurut **Gambar 1** reaksi antara besi oksida dengan CO/CO₂ dimungkinkan dengan $\rho_{CO} + \rho_{CO_2} = 1 \text{ atm}$ pada temperatur di atas 983 K. Pada temperatur 1173-1273 K gas CO akan stabil yaitu akan didapatkan 100% CO dan 0% CO₂ hal ini berarti secara termodinamika CO₂ tidak dapat terbentuk pada temperatur di atas 1273^oK, persentase gas CO yang dihasilkan lebih maksimal sehingga dapat mempercepat proses reduksi (Ross 1980). Pada temperatur reduksi 1073 K dengan komposisi gas CO 40% dan CO₂ 60%, wustit merupakan fasa yang paling stabil. Hal ini berarti bahwa hematit dan magnetit akan tereduksi menjadi wustit dan besi akan teroksidasi kembali menjadi wustit karena pada komposisi tersebut wustit merupakan fasa yang stabil. Jika temperatur dinaikkan menjadi 1273 K kurva kesetimbangan magnetit – wustit berpotongan, wustit menjadi fasa stabil dan magnetit dapat tereduksi (Ross 1980).

Shrinking Core Model (SCM)

Konsep kinetika untuk suatu proses didapat dari model pendekatan persamaan matematika. Untuk mengamati reaksi gas reduktor dan padatan besi oksida digunakan model *Shrinking Core Model* (SCM) dengan mempertimbangkan perubahan berat dari besi oksida menjadi Fe. *Shrinking Core Model* (SCM) mengasumsikan bahwa pembentukan produk padatan dan inert material (*ash*) terjadi secara simultan, tanpa ada pelepasan material padat sehingga tidak ada perubahan ukuran dari partikel. Berikut adalah lima tahap yang terjadi pada *Shrinking Core Model* (SCM) yang ditunjukkan pada Gambar 2.

- Difusi dari gas reaktan A melewati lapisan tipis disekeliling partikel sampai ke permukaan padatan.
- Penetrasi dan difusi dari gas A melewati lapisan *ash* ke permukaan dari inti yang tidak bereaksi.
- Reaksi dari gas A dengan padatan pada reaksi permukaan
- Difusi dari gas produk melewati *ash* kembali ke bagian luar permukaan dari padatan.
- Difusi gas produk melewati lapisan tipis gas kembali ke bagian utama padatan



Gambar 2 Reaksi Gas Solid dalam *Shrinking Core*

Metode Deret Taylor

Metode Deret Taylor adalah metode yang umum untuk menurunkan rumus-rumus PDB, bahwa metode Euler diturunkan dengan metode Deret Taylor. Deret Taylor pada penurunan metode Euler dipotong sampai suku orde pertama sehingga solusinya kurang teliti (Canale & Chapra 2008).

Diberikan PDB:

$$y'(x) = f(x, y) \quad (8)$$

Hampiran diperoleh dengan mnguraikan y_{r+1} , sebagai berikut :

$$y_{r+1} = y(x_r) + hy'(x_r) + \frac{h^2}{2}y''(x_r) + \frac{h^3}{6}y'''(x_r) \dots \dots \dots + \frac{h^n y^n}{n!}(x_r) \quad (9)$$

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material

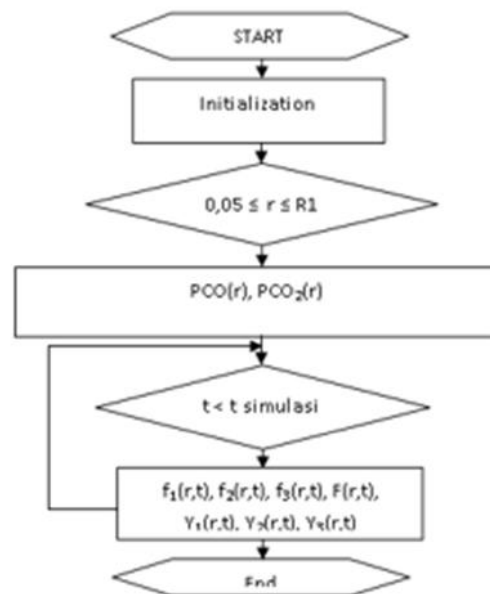
Material yang digunakan pada penelitian ini meliputi bijih besi hematit dengan kadar Fe 63,18 %, selain itu juga digunakan batubara sebagai sumber gas reduktor yang diperlukan selama proses reduksi. Untuk melakukan perhitungan numerik digunakan Matlab sebagai alat simulasi

8 November 2017

Metode Penelitian

Flowchart Pemodelan dan Data

Pemodelan yang dilakukan bertujuan untuk mengamati keberadaan fasa antara yang terbentuk pada saat proses reduksi. Pada pemodelan ini parameter yang digunakan adalah jari - jari pelet yang digunakan berukuran 2 cm, reduktor yang digunakan adalah gas karbon monoksida. Secara garis besar langkah pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Langkah pemodelan

Parameter-parameter kinetika dan fisik yang akan digunakan pada proses komputasi dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan nilai konstanta laju reaksi dari persamaan Arrhenius dan kesetimbangan untuk tiga tahap reduksi langsung besi oksida.

Tabel 1. Konstanta Laju Reaksi

Simbol	I	Keterangan
k_i (cm ³ /sec)	1 (h → m)	$k_1 = 9 \exp\left(\frac{-49884}{RT}\right)$
	2 (m → w)	$k_2 = 0.072 \exp\left(\frac{-21616}{RT}\right)$
	3 (w → Fe)	$k_3 = 0.036 \exp\left(\frac{-21616}{RT}\right)$
$K_{e,i}$	1 (h → m)	$K_{e1} = \exp[(7880 + 7.82T)/(1.987T)]$
	2 (m → w)	$K_{e2} = \exp[(-7120 + 9.1T)/(1.987T)]$
	3 (w → Fe)	$K_{e3} = \exp[(5450 - 5.87T)/(1.987T)]$

8 November 2017

Setelah diketahui nilai konstanta laju reaksi maka, perhitungan tekanan CO dan CO₂ terhadap radius pelet dilakukan dengan persamaan:

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (4\pi r^2 N_{CO,r}) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{d}{dr} (4\pi r^2 N_{CO,r}) = 0$$

$$aA + S_1 \rightarrow bB + S_2 \quad (10)$$

$$N_{CO,r} = \frac{-cd_{CO} \frac{dp_{CO}}{dr}}{1-m p_{CO}} \rightarrow m = 1 - \frac{a}{b} \quad (11)$$

Dari persamaan 10 dan 11 didapatkan profil gas CO dan CO₂

$$P'_{CO} = \frac{P_{CO} - P_{CO}^0}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{r}} \times \frac{1}{R_2^2} \quad (12)$$

$$P''_{CO} = \frac{P_{CO} - P_{CO}^0}{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{r}\right)^2} \times r^2 \quad (13)$$

Setelah nilai dari tekanan parsial CO diketahui, maka untuk mendapatkan nilai tekanan parsial CO₂ didapat dengan cara mengurangi tekanan dengan tekanan total yakni 1 atm:

$$P_{CO_2} = 1 - P_{CO} \quad (14)$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai kinetika intrinsik. Nilai kinetika intrinstik pada simulasi ini merupakan fungsi dari konsentrasi padatan, serta konsentrasi gas dan temperatur, yang ditentukan terlebih dahulu dari penelitian. Persamaan kinetika intrinsik (f_i) dapat dituliskan (Sohn & Chaubal 1984):

$$f_i = nkY_i(-\ln Y_i)^{(1-1/n)} \left(\frac{p_{CO} - p_{CO_2}/K_i}{RT} \right) \quad (15)$$

Selanjutnya menentukan nilai konsentrasi dari setiap fasa untuk menggambarkan laju reduksi besi oksida (hematit) menjadi Fe pada reaksi masing-masing.

$$n_{10} \frac{\partial Y_1}{\partial t} = -3n_{10} f_1(Y_1, P_{CO}, P_{CO_2}, T) \quad (16)$$

$$n_{20} \frac{\partial Y_2}{\partial t} = 2n_{10} f_1(Y_1, P_{CO}, P_{CO_2}, T) - \frac{xn_{20}}{4x-3z} f_2(Y_2, P_{CO}, P_{CO_2}, T) \quad (17)$$

$$n_{30} \frac{\partial Y_3}{\partial t} = \frac{3zn_{20}}{4x-3z} f_2(Y_2, P_{CO}, P_{CO_2}, T) - n_{30} f_3(Y_3, P_{CO}, P_{CO_2}, T) \quad (18)$$

Konsentrasi n_{20} dan n_{30} equivalen dengan n_{10} sehingga;

$$n_{20} = \frac{2}{3} n_{10} \text{ dan } n_{30} = \frac{2z}{x} n_{10} \quad (19)$$

Pada proses reduksi kehilangan oksigen dari oksidanya. Sehingga, nilai kehilangan oksigen dapat dihitung dengan persamaan:

$$F = 1 - \left(Y_1 + \frac{8}{9} Y_2 + \frac{2z}{3x} Y_3 \right) \quad (20)$$

Nilai total konversi didapat dengan integrasi persamaan berikut:

$$X = \frac{3}{r_p^3} \int_0^{r_p} F r^2 dr \quad (21)$$

Metode Verifikasi

Verifikasi diperlukan untuk mengamati apakah permodelan reduksi bijih besi yang dilakukan menggunakan metode Deret Taylor sesuai dengan proses reduksi sebenarnya. Proses reduksi dimulai dengan preparasi bahan baku. Bahan baku yang berupa lump ore hematit, dihaluskan hingga berukuran 200#. Selanjutnya bijih besi halus, batubara, bentonit dan air dicampurkan dengan komposisi tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan pelet diameter 2 cm dan direduksi di dalam muffle furnace selama 900, 1800, 2700, 3600 dan 7200 detik pada temperatur 1273 K. Setelah melalui proses reduksi maka Fe metal yang sudah terbentuk dan Fe Total besi spons tersebut di analisa kimia sehingga didapatkan persen metalisasi.

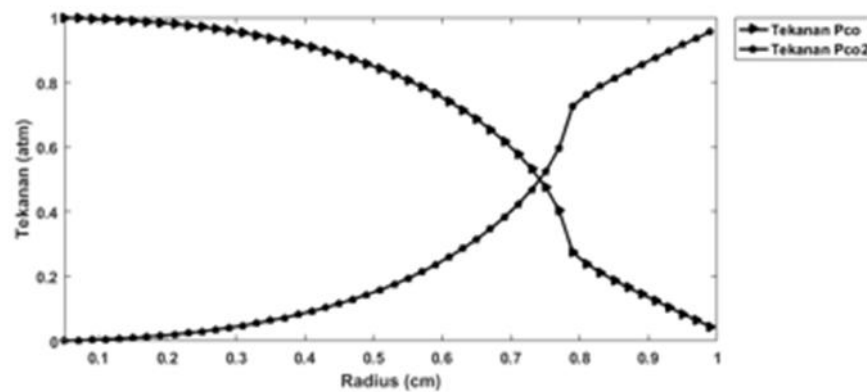
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemodelan Reduksi Menggunakan Matlab

Pemodelan proses reduksi besi oksida menjadi logam Fe dilakukan dengan variasi temperatur dan variasi waktu. Pada pemodelan ini temperatur yang digunakan adalah 1073 K, 1123 K, 1173 K, 1223 K, 1273 K dan 1373 K dengan waktu pemanasan 7200 detik dan variasi waktu 900, 1800, 2700, 3600 dan 7200 detik dengan temperatur 1273 K. Diasumsikan bahwa pelet berbentuk bola pejal diameter 2 cm. Dari hasil pemodelan dapat diketahui pengaruh waktu dan temperatur terhadap nilai fraksi konsentrasi pada tiap fasa yang terbentuk disepanjang jari-jari pelet.

Pengaruh Tekanan Gas CO dan Gas CO₂ di dalam Pelet

Proses reduksi dilakukan dengan mereaksikan gas reduktor dengan besi oksida. Pada pemodelan ini, gas reduktor yang digunakan adalah gas CO. Pada saat proses reduksi besi oksida berlangsung, gas CO akan berdifusi ke dalam pelet untuk menghilangkan oksigen yang terkandung di dalam pelet tersebut. Hasil dari proses tersebut yaitu gas CO₂. Gas tersebut dihasilkan dari reaksi antara gas CO dan oksigen yang bersumber dari besi oksida sehingga besi oksida dapat tereduksi menjadi Fe di keseluruhan bagian. Kemudian gas produk akan berdifusi keluar dari besi oksida ke atmosfer sehingga proses reduksi dapat berlangsung secara simultan. Profil tekanan gas CO dan CO₂ terhadap radius pelet ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil Tekanan Gas CO dan CO₂ terhadap Radius

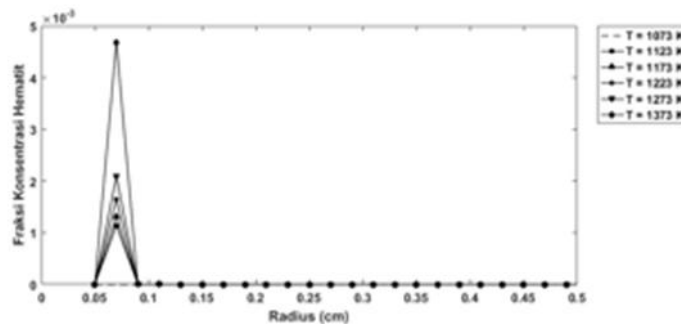
Pada Gambar 1, dapat dilihat bahwa gas CO semakin menurun dari bagian luar pelet ke bagian dalam pelet. Hal ini membuktikan teori *Shrinking Core Model* (SCM) bahwa keseluruhan proses terdiri atas reaksi pada antar muka, difusi reaktan dan produk melalui lapisan padatan produk serta difusi melalui lapisan *boundary* (Ross 1980). Menurut diagram Boudouard temperatur sangat berperan dalam menentukan komposisi gas CO dan CO₂ yang akan digunakan agar proses reduksi dapat berlangsung (Ross 1980). Reaksi tersebut berlangsung hingga seluruh oksigen menghilang dari oksidanya. Proses reduksi kali ini dapat dilihat dari sisi termodinamika, karena pada proses ini dipengaruhi dengan variasi temperatur akan tetapi tidak dapat menentukan seberapa lama reaksi tersebut berlangsung.

Pengaruh Temperatur dan Waktu Terhadap Hasil Konversi Reduksi

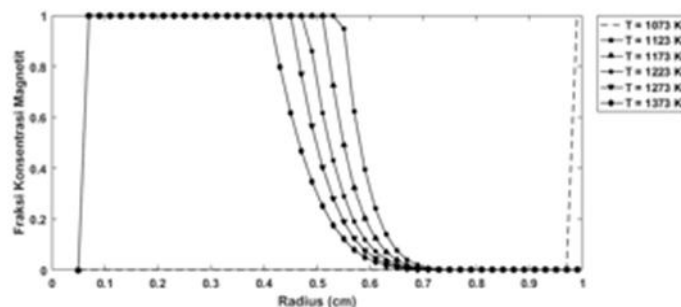
Pemodelan reduksi besi oksida dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur dan variasi waktu untuk memperlihatkan lapisan intermediate phase yang terbentuk. Pada proses reduksi ini digunakan variasi temperatur 1073 K, 1123 K, 1173 K, 1223 K, 1273 K dan 1373 K dengan waktu pemanasan 7200 detik dan variasi waktu 900, 1800, 2700, 3600 dan 7200 detik dengan temperatur 1273 K.

Pengaruh Temperatur dan Waktu Reduksi Terhadap Konversi Besi Oksida di Tiap Lapisan Intermediate

Pengaruh temperatur pada proses reduksi menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin banyak konsentrasi Fe yang didapat. Hasil pemodelan dapat dilihat pada Gambar 6, 7 dan 8 bahwa temperatur berperan penting dalam proses reduksi karena memberikan pengaruh yang signifikan pada proses konversi besi oksida.

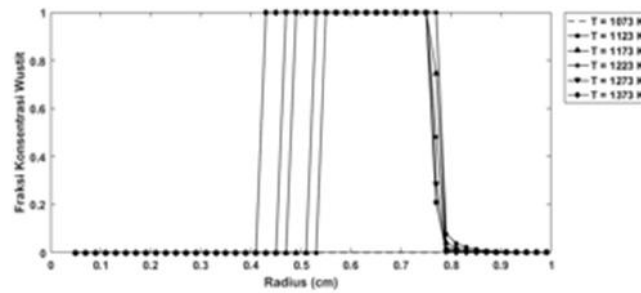


Gambar 6. Profil Fraksi Konsentrasi Hematit terhadap Radius dengan Variasi Temperatur



Gambar 7. Profil Fraksi Konsentrasi Magnetit terhadap Radius dengan Variasi Temperatur

8 November 2017



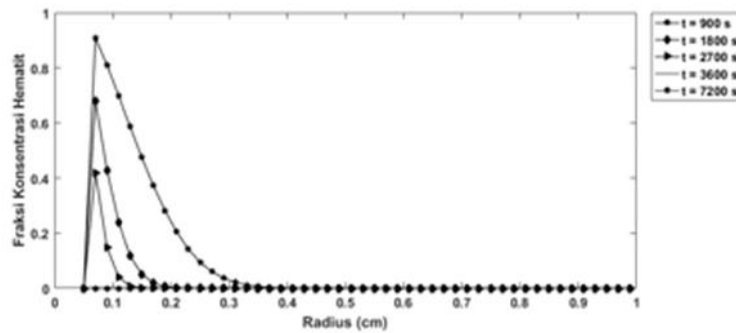
Gambar 8. Profil Fraksi Konsentrasi Wustit terhadap Radius dengan Variasi Temperatur

Pada Gambar 6 dilihat bahwa proses reduksi dari setiap temperatur hampir tidak terlihat sama, hanya saja pada temperatur 1073 K proses reduksi belum terjadi dikarenakan pada saat temperatur awal di pemodelan belum cukup untuk mereduksi fasa hematit menjadi magnetit. Sedangkan pada Gambar 7 terlihat ketika proses reduksi dilakukan pada temperatur diatas 1073 K sudah mengalami perubahan magnetit menjadi wustit, akan tetapi pada temperatur 1073 K konsentrasi magnetit baru saja terbentuk ketika radius 0,97. Hal ini dikarenakan pada temperatur di bawah 1273 K, gas CO tidak stabil dan akan bereaksi membentuk gas CO₂ kembali. Hal ini menyebabkan atmosfer CO berkurang dan proses reduksi terhambat. Sedangkan Pada Gambar 8 temperatur 1073 K mengalami penurunan kembali. Hal ini dikarenakan pada temperatur 1037 K keadaan atmosfer CO menipis maka walaupun terbentuk Fe dan wustit, maka akan langsung tereduksi menjadi magnetit kembali.

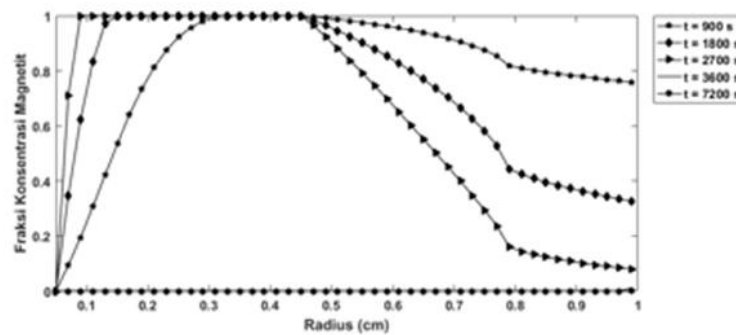
Pengaruh temperatur terhadap proses reduksi yaitu semakin tinggi temperatur maka proses reduksi yang berlangsung semakin cepat, hal ini terjadi karena konduktifitas panas yang digunakan semakin besar sehingga laju perpindahan panas pun berlangsung cepat. Apabila proses reduksi dilakukan dengan temperatur rendah maka perubahan fasa yang terjadi juga semakin lambat, hal ini terjadi karena pada proses reduksi ini melibatkan gas CO sebagai reduktor yang menghasilkan gas CO₂, sehingga proses berjalan secara endotermik atau memerlukan panas (Pelton 2000).

Reduksi berkaitan dengan termodinamika reaksi dan kinetika. Kinetika berhubungan dengan variasi waktu yang digunakan Waktu reduksi akan mempengaruhi seberapa lama proses reduksi akan berlangsung sampai semua oksigen dapat dihilangkan dari oksidanya.

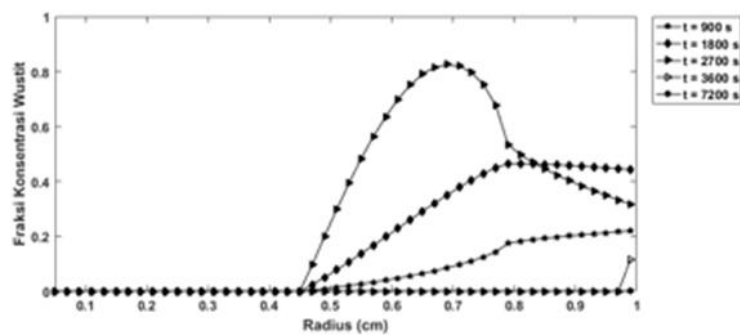
8 November 2017



Gambar 9. Profil Fraksi Konsentrasi Hematit terhadap Radius dengan Variasi Waktu



Gambar 10. Profil Fraksi Konsentrasi Magnetit terhadap Radius dengan Variasi Waktu



Gambar 11. Profil Fraksi Konsentrasi Wustit terhadap Radius dengan Variasi Waktu

Gambar 9 menunjukkan bahwa konsentrasi hematit pada bagian luar pelet sudah tereduksi semua menjadi magnetit sedangkan untuk waktu reduksi 3600 detik dan 7200 detik terlihat konsentrasi hematit masih tetap stabil.

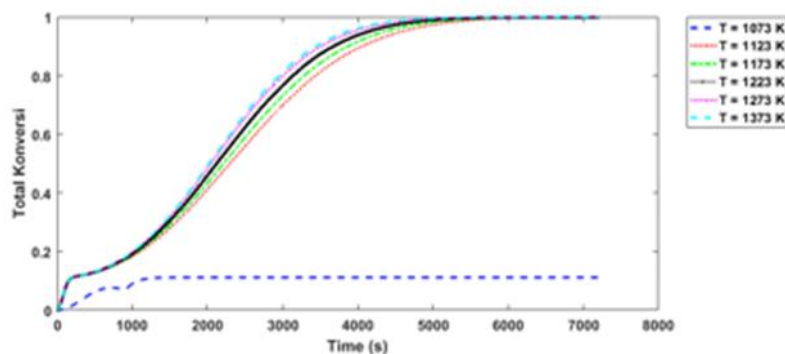
8 November 2017

Pada Gambar 10 terlihat bahwa konsentrasi magnetit sudah mulai tereduksi menjadi wustit, akan tetapi pada waktu dibawah 45 menit konsentrasi magnetit belum tereduksi habis menjadi wustit, berbeda pada saat waktu reduksi 3600 detik bahwa konsentrasi magnetit baru muncul dipermukaan ketika radius 0,99. Hal ini dikarenakan terjadi kembali proses reduksi dibandingkan pada waktu sebelumnya dimana terjadi reoksidasi besar-besaran. Maka, tidak terbentuk wustit pada waktu reduksi 3600 detik. Sedangkan untuk waktu 7200 detik, terlihat pada gambar konsentrasi masih saja dalam keadaan stabil. Sedangkan pada Gambar 11 Fe baru terbentuk dipermukaan pelet. Pada waktu reduksi 3600 detik bahwa fasa wustit baru mulai terbentuk ketika radius 0.97 cm dan pada waktu pemanasan 7200 detik terlihat pada gambar garis masih stabil lurus. Hal ini dikarenakan pada pemanasan diatas 3600 detik konsentrasi hematit langsung tereduksi menjadi besi (Ono 1981).

Pengaruh waktu terhadap proses reduksi besi oksida yaitu semakin lama proses reduksi maka Fe yang didapat semakin cepat dan semakin banyak. Proses reduksi hematit menjadi magnetit berlangsung lebih cepat dibandingkan perubahan magnetit menjadi wustit karena reaksi reduksi magnetit menjadi wustit merupakan reaksi endotermik sehingga membutuhkan kalor dan waktu yang lebih banyak untuk mereduksi seluruh magnetit menjadi wustit. Sehingga laju reduksi wustit menjadi besi tergantung pada laju reduksi magnetit menjadi wustit.

Pengaruh Temperatur Terhadap Total Konversi Reduksi Bijih Besi

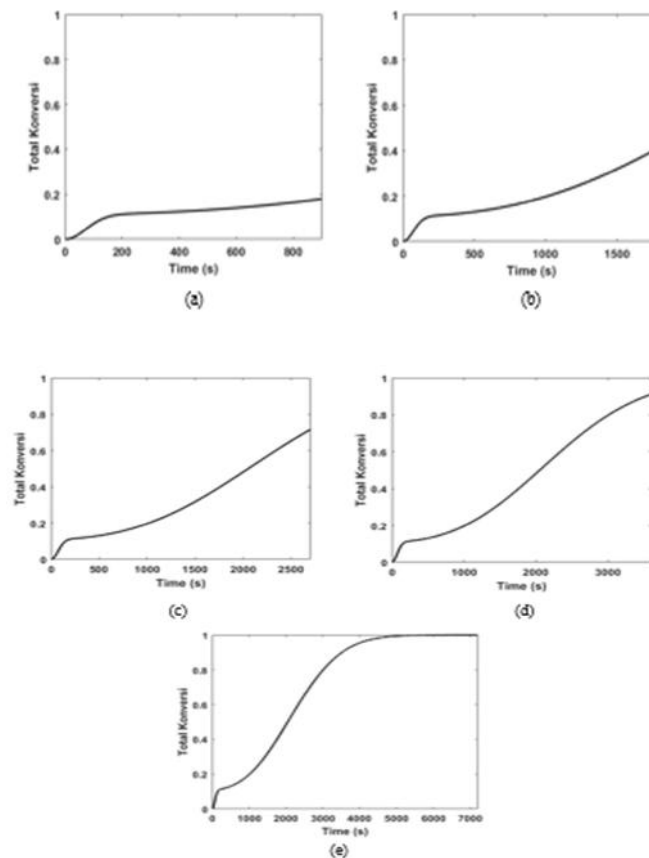
Total konversi dapat dihitung dari seberapa banyaknya keseluruhan oksigen yang hilang pada temperatur dan waktu yang digunakan sampai dididapkannya Fe.



Gambar 12. Pengaruh Temperatur terhadap Nilai Total Konversi

8 November 2017

Gambar 12 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin cepat proses reduksi. Pada temperatur diatas 1173 K hematit tereduksi sempurna hingga mencapai nilai 1 ketika waktu pemanasan 5640 detik sedangkan dibawah 1173 K didapat total konversi 1 ketika waktu pemanasan 6366 detik. Beda hal nya dengan temperatur 1073 K, terlihat sedikit adanya kenaikan pada grafik sampai konsentrasi 0,076 pada waktu 722 detik dan mengalami penurunan kembali pada waktu 907 detik. Setelah itu, pada waktu 1300 detik temperatur 1073 K stabil pada fasa hematit. Sedangkan pengaruh waktu terhadap total konversi dari reduksi yang dilakukan dengan temperatur 1273 K dijelaskan pada Gambar 13 semakin lama waktu reduksi maka akan semakin tinggi nilai total konversi. Hal ini disebabkan kalor yang diterima oleh proses reduksi tersebut lebih besar sehingga dengan waktu yang sama akan menghasilkan total konversi yang lebih tinggi.

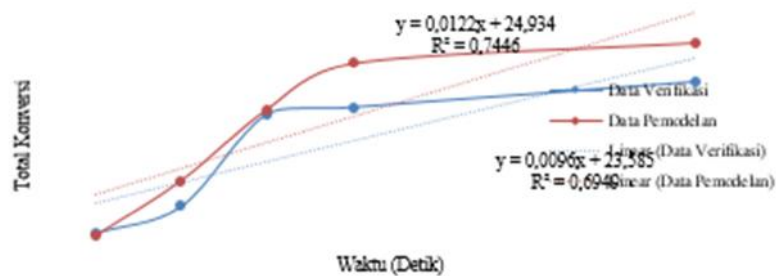


Gambar 13. Pengaruh Temperatur terhadap Nilai Total Konversi (a) 900 Detik (b) 1800 Detik (c) 2700 Detik (d) 3600 Detik (e) 7200 Detik

8 November 2017

Perbandingan Total Konversi Simulasi Dengan Hasil Percobaan

Hasil percobaan dilakukan hanya pada reduksi besi oksida dengan variasi waktu 900 detik, 1800 detik, 2700 detik, 3600 detik dan 7200 detik dan temperatur reduksi 1273 K. Gambar 10 merupakan grafik hasil perbandingan antara data percobaan dengan data pemodelan. Hasil percobaan yang didapat hampir mendekati dengan hasil pemodelan, hanya saja hasil pemodelan yang didapat lebih besar dibandingkan dengan hasil verifikasi.



Gambar 14. Perbandingan Antara Data Percobaan dengan Data Pemodelan

Hal ini dikarenakan bahwa pada pemodelan sama sekali tidak ada faktor yang mempengaruhi hasil data yang didapat. Sedangkan pada percobaan dilakukan secara langsung sehingga ada beberapa faktor yang menunjang kegagalan pada percobaan tersebut. Namun berbeda pada waktu 900 detik, data verifikasi yang didapat lebih besar dibandingkan data pemodelan yaitu 19,15 % hal ini disebabkan pada waktu 900 detik sampai 1800 detik terjadi pembentukan gas CO sehingga proses reduksi berlangsung cepat walaupun pada waktu tersebut tekanan belum stabil dan waktu yang digunakan belum cukup untuk mereduksi secara sempurna. Pada saat reduksi dilakukan dengan waktu 7200 detik, hasil verifikasi terbilang cukup jauh dengan hasil pemodelan yaitu 82,83%. Hal ini dikarenakan gas CO yang digunakan untuk mereduksi pada waktu reduksi yang cukup lama telah habis, sehingga proses reduksi tidak berlangsung sempurna. Pada pemodelan ini tidak memperhitungkan laju konsumsi gas CO sehingga tekanan gas yang dihasilkan adalah tetap untuk setiap kenaikan waktu pemanasan. Oleh karena itu, terdapat perbedaan antara hasil pemodelan dan hasil percobaan pada proses reduksi besi oksida.

Data pemodelan yang didapat telah diuji normalitasnya dengan menggunakan *software* SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa data tersebut berdistribusi normal, bukti tersebut bahwa nilai signifikan yang di dapat $> 0,05$ yaitu 0,994. Selain uji normalitas, data tersebut juga dicari seberapa dekat hubungannya antara waktu reduksi yang digunakan dengan hasil pemodelan, sehingga dapat ditarik garis lurus pada Gambar 4.10. Korelasi dari kedua data tersebut mendekati angka 1 yaitu 0.863, hal ini menjelaskan bahwa ada hubungan yang kuat antara waktu dengan data pemodelan. Pada Gambar 14 apabila dihitung persen galat reduksi dari kedua data tersebut yaitu 17,63%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan yang dicapai mendekati hasil sesungguhnya.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Pengaruh perubahan *intermediate phase* terhadap total konversi reduksi besi yaitu semakin sedikit jumlah konsentrasi *intermediate phase* yang didapat maka total konversi yang didapat semakin banyak.
2. Waktu yang efektif yang digunakan untuk mereduksi bijih oksida secara sempurna yaitu 7200 detik dengan temperatur 1273 K.
3. Persen keberhasilan yang dicapai untuk penelitian kali ini yaitu $> 80\%$ sehingga rata-rata galat yang didapat antara data pemodelan dengan data verifikasi yaitu 17,89%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Canale, R.P. & Chapra, S.C., 2010. Numerical Methods for Engineers.
2. Manaf, 2010. Karakteristik Reduksi Bijih Besi Laterit. *Universitas Indonesia*, 25.
3. Ono, Y., 1981. Effects of Iron of Gaseous Oxide Sulfide on the Reduction Pellets * By Rokuro KUWANO ,** Takao. , 66(1980), pp.342–348.
4. Patisson, F., Francois, G. & Ablitzer, D., 1998. A non-isothermal , non-equimolar transient kinetic model for gas-solid reactions. , 53(4).
5. Pelton.D. A dan Christopher.W. B., 2000 : Thermodynamics, *Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use, The Iron and Steel Society,Warrendale*, 28. 39.
6. Putra, G.M., 2012. Permodelan Fraksi Konsentrasi Intermediate Phase pada Proses Reduksi Langsung Besi Oksida dengan Reduktor Gas CO. , (1962).
7. Ross, HU and McAdams, Douglas and Marshall, Thomas., 1980. *Physical Chemistry.*, University of Toronto and Department of Scientific and Industrial Reasearch : Toronto and New Zealand.
8. Sohn, H.Y. & Chaubal, P.C., 1984. Rate Pellets Enhancement by Pressure of the Gaseous Reduction of Iron Oxide Cycling. , (May 1983).

Pengaruh Penambahan Cu Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-8Zn-4Mg Berpenguat SiC Hasil *Squeeze Casting*

Maseska Fatma Syarida, Risly Wijanarko, Dwi Rahmalina, & Bondan Tiara Sofyan¹,

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

^{a)}bondan@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

The role of Cu in the precipitation strengthening of aluminium composites has been studied. Aluminium with low hardness and strength combined with alloying elements and SiC was expected to possess high strength. Age hardening was also conducted to further improve the composites toughness. Composites of Al-8Zn-4Mg matrix reinforced by 15 % SiC with varied content of 0, 1, and 3 wt. % Cu were fabricated through squeeze casting process. The composites were then solution treated at 500 °C for 1 h and aged at 200 °C for up to 100 h. Final products were characterized by using chemical composition testing, optical microscopy, Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS), hardness test, and impact test. Results showing that the addition of Cu increased the peak hardness due to the presence of precipitates. All samples reached peak hardness after aged for 2 h with the value of 83.36, 83.74, and 91.17 HRB with varied content of 0, 1, and 3 % Cu, respectively. However, the impact values decreased with the addition of Cu from 45440.86 to 42561.46 and 38533.40 J/m². Addition of Cu was found to perform grain refinement so that increased the hardness and decreased the impact value. SEM-EDS observation confirmed the presence of MgZn₂ in grain boundaries, CuMgAl₂ which existed in 3 wt. % Cu, and (FeMn)₃Si₂Al₁₅ intermetallic phase.

Keywords: aluminium composite, Cu, SiC, ageing, precipitation

PENDAHULUAN

Material komposit banyak digunakan sebagai material pengganti baja karena lebih ringan, namun memiliki sifat mekanis yang tinggi. Salah satu jenis komposit yang biasa digunakan adalah MMC (*Metal Matrix Composit*) dengan penyusun matriks aluminium dengan berpenguat SiC. Paduan aluminium merupakan salah satu material *armour* dengan sifat balistik yang baik dan berat jenis yang ringan.

8 November 2017

Selain itu, aluminium mudah dipadu dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekanisnya [1]. Untuk memperoleh paduan aluminium yang dapat ditingkatkan kekuatannya melalui perlakuan panas pengerasan pengendapan, maka diperlukan unsur paduan seperti Zn, Mg, dan Cu sehingga dihasilkan jenis aluminium seri 7xxx (Al-Zn-Mg-Cu). Paduan Al-Zn-Mg-Cu merupakan sistem paduan yang kompleks karena terdapat beberapa fasa intermetalik yang terbentuk selama pembekuan. Penelitian oleh Xi-gang, *et al.* [5] menunjukkan bahwa pada saat solidifikasi terbentuk mikrostruktur yang meliputi $\alpha(\text{Al})$, eutektik ($\alpha(\text{Al}) + \text{Mg}(\text{Al,Cu,Zn})_2$) dan $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$.

Penguatan maksimum pada paduan aluminium yang dipadu dengan Cu, dicapai pada kadar 4 – 6 % berat Cu dan bergantung pada pengaruh unsur lain pula [2]. Hadjadj & Amira [3] menunjukkan bahwa Cu memberikan pengaruh pengurangan dimensi butir yang bisa meningkatkan kekuatan mekanis. Semakin kecil ukuran butir maka semakin banyak batas butir yang terbentuk yang dapat menghambat pergerakan dislokasi [4]. Sementara itu, keberadaan SiC memberikan pengaruh pada ketahanan impak suatu material. Kheder *et al.* [5] dalam penelitiannya membuktikan bahwa harga impak akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar SiC. Selain itu, SiC juga memiliki pengaruh dalam mereduksi ukuran butir sehingga memberikan efek penguatan namun keuletan material menurun.

Proses pengerasan penuaan dapat mempengaruhi kekuatan balistik komposit aluminium. Mondal *et al.* [6] menunjukkan bahwa kekuatan balistik paduan aluminium 7050 pada kekerasan puncak setelah penuaan memiliki kekerasan tertinggi dan ketahanan penetrasi proyektil yang tinggi dibandingkan daerah penuaan awal dan penuaan berlebih. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pengerasan penuaan akan meningkatkan ketahanan material terhadap beban kejut. Selain itu, penambahan SiC pada aluminium komposit menambah ketahanan dan ketangguhan material terhadap penetrasi peluru [7]. Pada penelitian sebelumnya [10], karakteristik balistik dengan komposisi komposit Al-5Zn-6Mg dengan 10 % berat SiC menunjukkan ketahanan penetrasi yang baik, namun terjadi retakan dan lendutan deformasi yang besar. Sementara itu, untuk komposit berpenguat 20 % berat SiC mempunyai penetrasi kedalaman yang kecil, namun masih terjadi retak yang panjang dan menjalar hingga ke bagian dalam. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa panel ini masih harus ditingkatkan ketangguhannya.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan pelat komposit Al-8Zn-4Mg dengan penguat SiC 15 vol. % dan variabel Cu (0, 1 dan 3 % berat) dengan metode *squeeze casting*, dilanjutkan dengan proses penuaan. Kemudian, karakterisasi material akan dilakukan untuk melihat pengaruh Cu terhadap fenomena pengerasan penuaan, kekerasan, dan ketahanan balistik dari komposit tersebut.

METODE PENELITIAN

Komposit aluminium yang dibuat merupakan paduan Al-8Zn-4Mg (% berat) dengan penambahan variasi kadar Cu sebesar 0, 1, dan 4 % berat serta partikel penguat SiC #180 sebanyak 15 % fraksi volume. Proses peleburan ingot Al (99.99 % berat), seng (99.99 % berat), Mg (99.99 % berat), dan Cu (99.99 % berat) dilakukan pada temperatur 850 – 875 °C, diikuti dengan proses *degassing* menggunakan gas argon selama 2 – 3 menit. Kemudian, partikel SiC yang telah dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur 1100 °C dicampur ke dalam leburan paduan aluminium dan diaduk dengan kecepatan 5000 rpm. Setelah itu, logam cair dituang ke dalam cetakan logam berukuran 170 mm x 170 mm x 15 mm dan dilakukan proses penekanan sebesar 1 MPa selama 1 menit. Komposisi aktual komposit aluminium pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Pengerasan penuaan yang terdiri atas 3 tahap, yaitu laku pelarutan, pendinginan cepat, dan penuaan. Proses laku pelarutan dilakukan pada temperatur 500 °C selama 60 menit. Setelah itu, sampel didinginkan cepat ke dalam air dengan temperatur 20 – 25 °C. Setelah itu, dilakukan proses penuaan buatan pada temperatur 200 °C selama 5 menit hingga 100 jam. Pengujian kekerasan dilakukan dengan *Rockwell B* menggunakan standar ASTM E-18. Sementara itu, pengujian impak dilakukan mengacu pada ASTM E23 untuk masing-masing sampel. Pengamatan mikrostruktur dilakukan menggunakan SEM – EDS (*Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy*) dan mikroskop optik. Selain itu, pengujian balistik dilakukan menggunakan pengujian tipe III pada pelat berukuran 100 mm x 100 mm x 15 mm. Sebelum ditembak, sampel komposit dilakukan pengerasan penuaan dan pengerasan permukaan dengan *thermal spray coating* menggunakan material *tungsten carbide-cobalt (WC-Co)* dengan metode *high velocity oxygen fuel (HVOF)*. Senjata yang digunakan adalah SPR-1 kaliber 7.62 mm dengan jarak tembak 15 m. Kecepatan peluru menghantam sampel sekitar 850-900 m/s.

TABEL 1. Komposisi kandungan unsur paduan

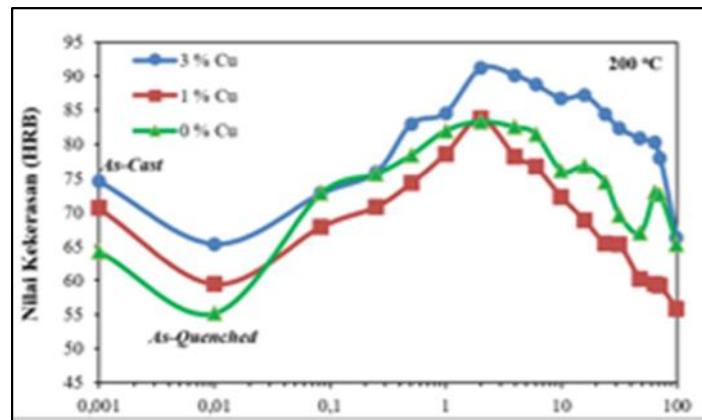
Sampel	Zn	Mg	Cu	Si	Fe	Mn	Ti	Cr	Ni	Al
0% berat Cu	7.25	3.86	0	12.86	0.16	0.02	0.01	0	0.01	Rem
1% berat Cu	8.75	3.92	0.91	12.38	0.24	0.04	0.02	0.01	0.02	Rem
3% berat Cu	8.77	4.05	2.66	12.20	0.17	0.02	0.01	0.01	0.01	Rem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Pengerasan Penuaan

Pengaruh Cu terhadap kekerasan paduan Al-8Zn-4Mg berpenguat SiC 15 % fraksi volume dengan variasi kandungan Cu dapat dilihat pada Gambar 1. Nilai kekerasan saat kekerasan puncak yang dicapai dalam waktu 2 jam untuk variasi 0, 1 dan 3 % berat Cu secara berturut-turut adalah 83.36, 83.74 dan 91.17 HRB. Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa bertambahnya kandungan Cu maka nilai kekerasan puncak akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Hadjadj & Amira [3] yang menunjukkan bahwa Cu memberikan pengaruh pada pengurangan dimensi butir sehingga kekuatan mekanis meningkat. Cu juga memberikan pengaruh dalam pelarutan Al-Zn-Mg dan evolusi struktur eutektik sehingga diperkirakan fasa Al_2CuMg terbentuk selama perlakuan panas [8]. Sementara itu, dapat dilihat pula bahwa kenaikan kekerasan terbesar terjadi dalam waktu 5 menit penuaan. Fenomena ini dikenal sebagai *cluster hardening* dan biasa terjadi pada paduan yang mengandung Cu dan Mg yang tinggi. Ringer *et al.* [9] mengamati fenomena ini pada paduan Al-Cu-Mg dimana 60 % dari total kekerasan yang dicapai hingga kekerasan puncak didapatkan dalam waktu penuaan 5 menit setelah pendinginan cepat.

8 November 2017

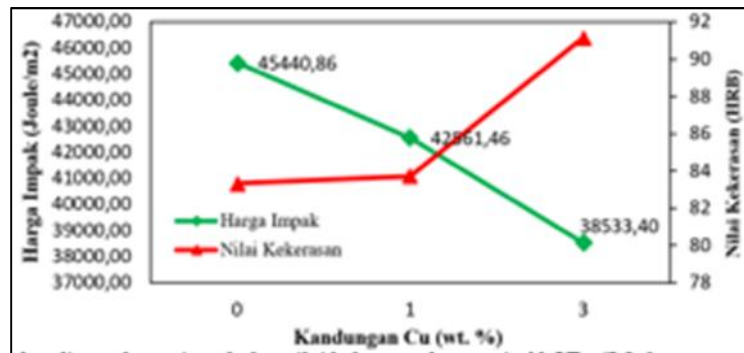


GAMBAR 1. Pengaruh Cu terhadap respon pengerasan penuaan komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC pada temperatur 200 °C.

Pengaruh Cu terhadap Harga Impak

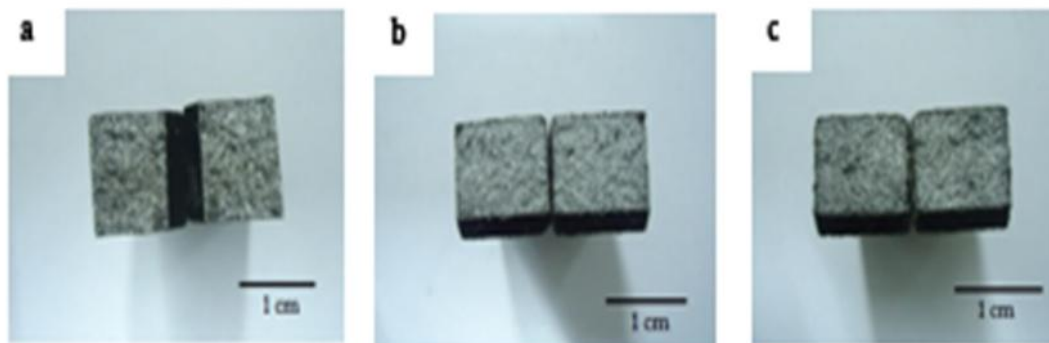
Hasil pengujian impak pada komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat SiC 15 % fraksi volume pada kondisi kekerasan puncak setelah penuaan dapat dilihat pada Gambar 2. Dapat dilihat bahwa harga impak mengalami penurunan sebesar 15.2 % pada sampel dengan kandungan Cu sebesar 3 % berat, dibandingkan dengan komposit tanpa paduan Cu. Pada Gambar 2 dapat dilihat juga perbandingan antara harga impak dengan nilai kekerasan pada kondisi kekerasan puncak, yaitu semakin meningkatnya kandungan Cu maka kekerasan meningkat namun harga impak menurun. Hal tersebut dikarenakan menurunnya energi yang bisa diserap oleh material komposit seiring meningkatnya kandungan Cu. Namun bila dibandingkan dengan sampel *as-cast*, harga impak pada kondisi kekerasan puncak memiliki nilai yang lebih tinggi sekitar 31.7 % meskipun kekerasannya juga lebih tinggi. Hal ini menandakan bahwa proses pengerasan penuaan juga memberikan pengaruh dalam meningkatkan ketangguhan material.

8 November 2017



GAMBAR 2. Perbandingan harga impak dan nilai kekerasan komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC terhadap variasi komposisi Cu pada kondisi kekerasan puncak dengan temperatur penuaan 200 °C.

Rata-rata harga impak komposit Al-8Zn-4Mg, yaitu sebesar 45440.86 J/m². Hasil ini berbeda dengan penelitian Rahmalina [10] pada material komposit Al-9Zn-6Mg berpenguat 10 % fraksi volume SiC yang memiliki harga impak sebesar 175559 J J/m². Kontras tersebut dikarenakan berbedanya kandungan SiC, dimana semakin bertambahnya kandungan SiC maka harga impak semakin menurun [5]. Penurunan harga impak seiring keberadaan SiC menghasilkan perpatahan getas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dapat diamati bahwa terdapat titik-titik hitam pada Gambar 3 yang diperkirakan merupakan SiC yang mengumpul.

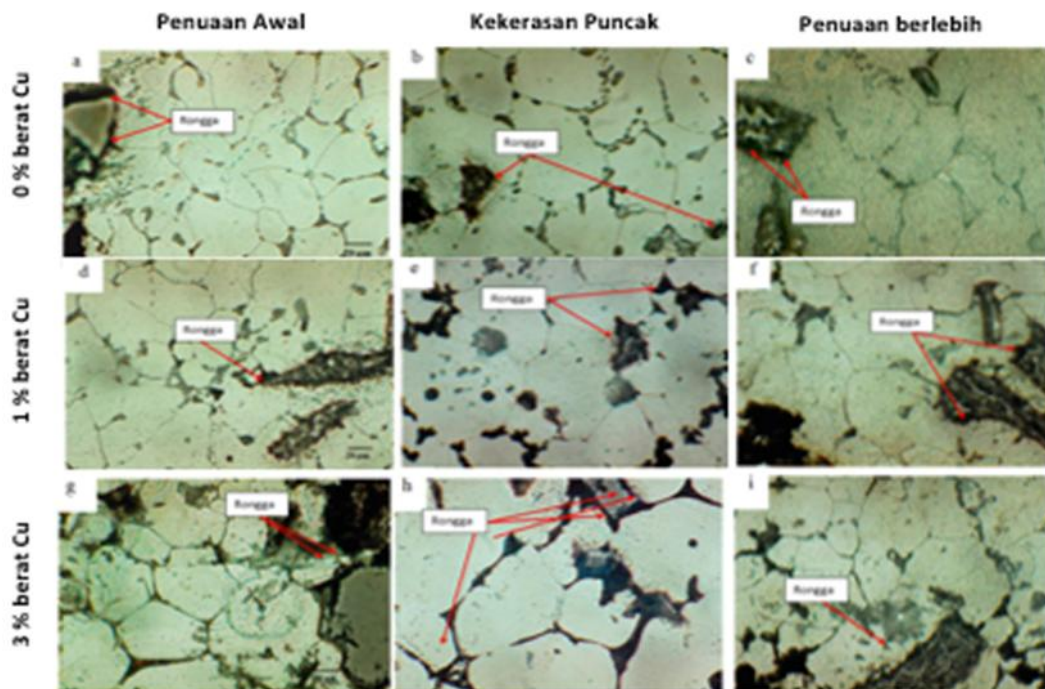


GAMBAR 3. Permukaan patahan impak komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC dengan variasi (a) 0, (b) 1, dan (c) 3 % berat Cu.

8 November 2017

Pengaruh Cu terhadap Evolusi Struktur Mikro selama Pengerasan Penuaan

Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa persebaran partikel SiC pada sampel komposit tidak merata. Semakin bertambahnya waktu penuaan, bagian butir terlihat lebih gelap yang diperkirakan karena semakin banyaknya presipitat yang terbentuk karena adanya Cu. Selain itu, dapat dilihat pula adanya rongga di sekitar SiC yang menandakan bahwa Mg tidak membasahi antarmuka Sic dengan matriks dengan baik.



GAMBAR 4. Struktur mikro komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC dengan variasi kandungan Cu (a-c) 0, (d-f) 1, dan (g-i) 3 % berat pada kondisi penuaan awal, kekerasan puncak, dan penuaan berlebih pada temperatur 200 °C dengan perbesaran 500x.

Keberadaan rongga tersebut akan menurunkan sifat mekanik material komposit terutama ketahanan impaknya. Rongga akan menjadi konsentrasi tegangan dan menjadi tempat inisiasi retakan ketika material diberikan beban.

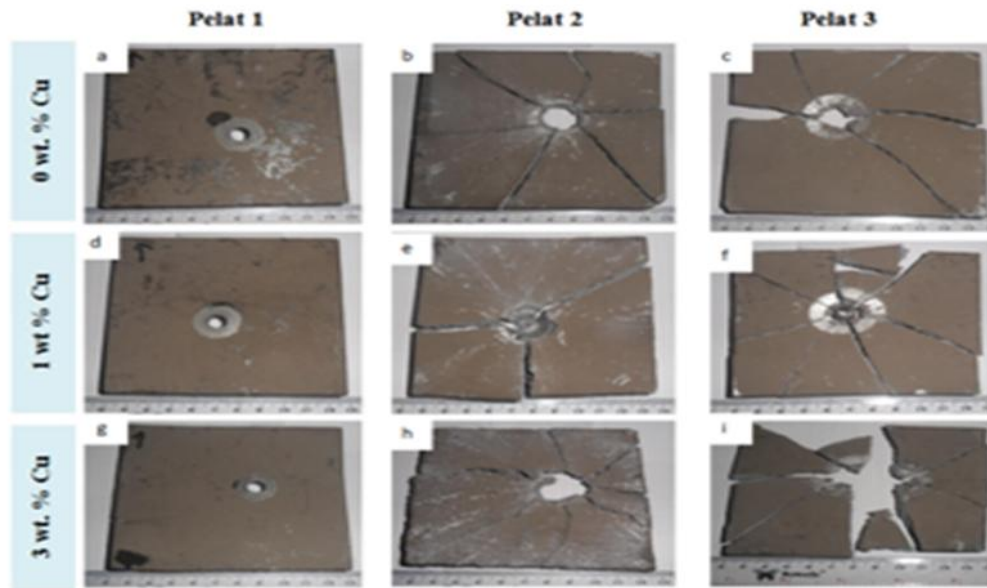
Gambar 5 menunjukkan gambar hasil pengamatan sampel komposit menggunakan SEM dengan perbesaran 500x. Melalui analisa mikro menggunakan EDX pada gambar SEM, komposisi fasa yang mungkin ada dalam paduan Al-Zn-Mg-Cu dapat dilihat pada Tabel 2. Titik 1, 5 dan 10 menunjukkan matriks AlZn dengan karakteristik daerah yang gelap.

Partikel SiC dapat dilihat pada titik 2, 6 dan 11 dengan ukuran yang besar dan berwarna gelap. Pada titik 3, 7 dan 12 menandakan adanya fasa $MgZn_2$ pada daerah gelap dekat dengan garis putih yang diperkirakan batas butir. Selain itu, titik 4 dan 8 menunjukkan fasa $MgAl_2O_4$ yang merupakan *spinel* untuk mempermudah pembasahan SiC dengan matriks. Penembakan lain pada titik 13 menunjukkan kemungkinan fasa $CuMgAl_2$ yang hanya terdapat pada kandungan 3 % berat Cu. Hal ini menandakan bahwa pada kandungan tersebut, Cu baru bisa membentuk presipitat $CuMgAl_2$ secara maksimal. Sementara itu, fasa $Mg_3Zn_3Al_2$ mungkin terbentuk pada titik 14. Hal ini sesuai dengan literatur, yaitu salah satu fasa yang mungkin terbentuk pada paduan Al-Zn-Mg adalah fasa T($Al_2Mg_3Zn_3$) [10].

Pengaruh Cu terhadap Hasil Uji Balistik

Hasil uji balistik komposit Al-8Zn-4mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC dengan variasi kandungan Cu sebesar 0, 1 dan 3 % berat pada kondisi kekerasan puncak dapat dilihat pada Gambar 6. Dapat dilihat bahwa hanya pelat pertama yang tidak pecah pada uji balistik tipe III. Sementara itu, pelat ke-3 komposisi 3 % berat Cu mengalami kerusakan yang paling parah. Hal ini menandakan seluruh komposit tidak cukup tangguh untuk menahan beban impak hasil uji balistik dan penambahan Cu dapat membuat kemampuan menahan beban balistik menurun. Selain itu, persebaran SiC yang tidak merata dapat menyebabkan tegangan pada material menjadi tidak merata pula sehingga menurunkan sifat mekanisnya. Keberadaan rongga pada daerah antarmuka SiC dengan matriks yang ditunjukkan pada Gambar 4 dapat menurunkan kemampuan menahan beban balistik.

8 November 2017



GAMBAR 6. Permukaan hasil uji balistik sampel komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 % fraksi volume SiC dengan variasi Cu (a-c) 0, (d-f) 1, dan (g-i) 3 % berat setelah penguatan pada temperatur 200 °C selama 2 jam.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan kandungan Cu sebesar 0, 1 dan 3 % berat menghasilkan kekerasan puncak senilai masing-masing 83.36, 83.74 dan 91.17 HRB dengan waktu penguatan selama 2 jam.
2. Harga impak yang dihasilkan setelah penambahan Cu menunjukkan penurunan, yaitu 45440.86, 42561.46 dan 38533.40 J/m² untuk masing-masing kandungan 0, 1 dan 3 % berat Cu secara berturut-turut. Namun, harga impak pada kondisi kekerasan puncak memiliki nilai lebih tinggi 31.7 % dibandingkan dengan produk *as-cast*.
3. Semakin tinggi kandungan Cu, butir akan semakin halus sehingga menyebabkan kekerasan meningkat namun menurunkan harga impak.
4. Presipitat yang diperkirakan terbentuk pada daerah batas butir adalah MgZn₂. Selain itu, kemungkinan presipitat CuMgAl₂ baru hadir pada kandungan Cu 3 wt. %. Fasa intermetalik yang kemungkinan terbentuk adalah (FeMn)₃Si₂Al₁₅.

5. Material komposit Al-8Zn-4Mg berpenguat 15 vol. % SiC pada semua variasi Cu sebesar 0, 1 dan 3 wt. % belum mampu menahan penetrasi balistik tipe III. Kegagalan yang terjadi disebabkan karena adanya penambahan Cu dan *clustering* SiC, rongga pada daerah antar muka SiC dengan matriks yang menurunkan sifat mekanis komposit ini.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penelitian ini didanai melalui hibah Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2017 dari Kementerian Riset Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti) Republik Indonesia.

REFERENSI

1. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook. Vol. 2. 1990: ASM International Handbook Committee.
2. *Alloy Phase Diagrams*. ASM Handbook. Vol. 3. 1992: ASM International Handbook Committee.
3. Hadjadj, L. and R. Amira, *The effect of Cu addition on the precipitation and redissolution in Al-Zn-Mg alloy by the differential dilatometry*. Journal of Alloys and Compounds, 2009. **484**(1-2): p. 891-895.
4. Callister W.D. *Material Science and Engineering, 6th edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc. 2004.
5. Kheder, A.R.I., Marahleh, G.S., Al-Jamaea, D.M.K., *Strengthening of Aluminum by SiC, Al₂O₃ and MgO*, *Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2011. p. 533-541.
6. Mondal, Chandan., Mishra, B., K. Jena, Pradipta., Kumar, K. Siva., Bhat, T.B., *Effect of Heat Treatment on The Behavior of an AA7055 Aluminum Alloy During Ballistic Impact*, Elsevier, 2011.
7. Rahmalina, D., *Pengembangan Komposit Aluminium sebagai Material Armor dengan Keunggulan Kinerja Balistik*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2012.
8. Xi-gang, F., Da-ming, Jiang., Qing-chang, Meng., Bao-you, Zhang., Tao, Wang., *Evolution of Eutectic Structures in Al-Zn-Mg-Cu Alloys during Heat Treatment*. Transaction of Nonferrous, Metal Society of China, 2006. **16**: p. 577-581.
9. Ringer, Simon P., Hono, Kazuhiro., Sakurai, Toshio., Polmear, Ian J., *Cluster Hardening in An Aged Al-Cu-Mg Alloy*, Pergamon, 1997. p. 517-521.
10. Xie, F., et al., *A study of microstructure and microsegregation of aluminum 7050 alloy*. Materials Science and Engineering A, 2003. **355**(1-2): p. 144-153.

**Peran Parameter Perlakuan Panas *Quench* Dan *Temper* Pada *Quenched Hrp Steel*
Dalam Pembuatan Baja *Armor***

Yurianto^{1,a}, Pratikto^{2,b}, Rudy Sunoko^{2,c}, & Wahyono Suprpto^{2,d}

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang - Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang – Indonesia

yurianto-mesin@undip.ac.id pratikto@ub.ac.id rudysoen@ub.ac.id wahyonos@ub.ac.id

Abstract

Baja tahan peluru adalah baja dengan kekuatan dan kekerasan tinggi yang digunakan untuk melindungi kerusakan benda, individu atau kendaraan dari tekanan langsung peluru. Baja ini terbuat dari *hot rolled plate steel – HRP Steel* yang diperlakukan panas *quench* dengan media pendingin air dan setelah itu di *temper*. Akhir kedua perlakuan panas tersebut menghasilkan *Quenched & Tempered Steels – Q&T Steel* yang digunakan untuk pembuatan peralatan militer dan komersial. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui peranan *temper* pada baja tahan peluru berbahan *HRP Steel* buatan dalam negeri. Metode *Taguchi* digunakan untuk meng optimasi temperature *austenite*, waktu penahanan *austenite* dan temperature *temper* yang terlibat pada *Q&T Steel*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh terbesar pada kekerasan dan *impact energy* adalah *tempering*. Untuk kekerasan (dengan prediksi 536 BHN) dicapai pada temperatur *austenite* 900 °C; penahanan *austenite* 45 menit; temperatur *temper* 125 °C. Sementara *Impact energy* (dengan prediksi 31 *Joule*) dicapai pada temperatur *austenite* 900 °C; penahanan *austenite* 45 menit; temperatur *temper* 175 °C.

Kata kunci: *austenite temperature*, *austenite holding time*, *temper temperature*, *hardness*, *impact energy*.

1. PENDAHULUAN

C-Mn Steel atau *Hot Rolled Plate Steel (HRP Steel)* adalah bahan baku *armor steel* buatan Indonesia, salah satu *armor steel* yang dihasilkan jenis *Quenched and Tempered Steel (Q&T Steel)*. Di Indonesia, *Q&T Steel* digunakan untuk keperluan pembuatan perkakas militer (seperti *body* kendaraan tempur) dan komersial (seperti alat berat).

Quenching merupakan pemanasan tahap pertama pada *Medium Carbon & Carbon-Manganese Plate Steels* hingga ke temperatur *austenite* dan ditahan beberapa saat, kemudian didinginkan dengan cepat (dalam penelitian ini menggunakan air). Perlakuan panas ini mentransformasikan *austenite* menjadi *martensite* untuk mendapatkan kekerasan tinggi [1]. *Double quench* adalah proses *quench* ulang untuk mentransformasikan *austenite* sisa yang gagal bertransformasi menjadi *martensite*. Proses *double quench* dapat meningkatkan kekerasan dan ketangguhan yang *significant*, dan menghaluskan butiran *austenite* [2] dan [3].

Tempering merupakan pemanasan hingga temperatur dibawah garis *eutectoid* dan ditahan beberapa saat, kemudian didinginkan ke udara atmosfer. Perlakuan panas *temper* diterapkan pada *quenched steel* untuk mereduksi tegangan sisa, namun struktur *martensite* akan berkurang oleh aktivasi panas *temper*. Oleh karena itu *temper* dilakukan pada temperatur lebih rendah dari temperatur akhir pembentukan struktur *martensite* (M_f), sehingga akhir proses *temper* hanya mereduksi tegangan sisa sehingga baja semakin *ductile* dan kekerasannya sedikit menurun. Penemperan 150 °C – 200 °C hanya menghilangkan tegangan sisa [4]. *Tempering* menghasilkan karbida yang tersebar dalam matriks *ferritic* yang sedikit mirip dengan *martensite* asli [5], dan meningkatkan *ductility*. Akibat aktivasi panas *tempering*, struktur mikro mendekati kesetimbangan. Karena proses percepatan kesetimbangan kimia pada temperatur yang lebih tinggi, *martensite* mudah lenyap oleh panas *temper* [5].

Kecenderungan umum selama menemper *martensite* dimulai dengan penolakan kelebihan *carbon* pada endapan karbida, tetapi substitusi zat yang larut tidak berdifusi selama proses ini. Menemper *quenched steels* pada 148 °C - 205 °C menghasilkan sedikit penurunan kekerasan dan mereduksi *internal stress* [5], praktis diindustri pada 150 °C [6]. Profil kekerasan setelah *temper* lebih homogen karena efek *tempering* strukturmikro [7].

Sifat mekanik baja paduan rendah dapat ditingkatkan dengan penghalusan *austenite* [2], struktur ini berada diatas

terdekat dengan garis Ar_3 . Dengan memasukkan unsur yang terkandung maka [7],

$$Ar_3 (^{\circ}C) \sim 910 - (310C) - (80Mn) - (80Mo) - (55Ni) - (20Cu) - (15Cr) \quad (1)$$

Sedang temperatur mulai terbentuknya struktur *martensite* dihitung dengan rumus berikut,

$$M_s (^{\circ}C) = 561 - 474C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo \quad (2)$$

Rumus (2) digunakan pada baja dengan *carbon* 0.2% - 0,8%. Temperatur akhir pembentukan struktur *martensite* dihitung dengan [9],

$$M_f = 175 ^{\circ}C - 265 ^{\circ}C \text{ dibawah } M_s \quad (3)$$

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: "Bagaimana nilai kekerasan dan *impact energy quenched hot rolled plate steel* setelah mendapat perlakuan panas *quench* dan *temper* ?.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mencari pengaruh parameter *quenching* dan *tempering* terhadap nilai kekerasan dan *impact energy* pada *quenched hot rolled plate steel*.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini baja carbon menengah buatan industry baja Indonesia yaitu *hot rolled plate steel – HRP Steel*.

2.2 Metode

Metode Penelitian yang digunakan ditunjukkan dalam Gambar 2.4, dan 4 (empat) langkah optimasi *Taguchi* adalah, [10]

1. *Pemilihan karakter kualitas yaitu: smaller, better dan larger is better.*
2. *Pemilihan faktor kontrol dan bebas.* Dipilih faktor bebas sebanyak 3 (tiga) yaitu temperatur *austenite (A)*, *austenite holding time (H)* dan temperatur *temper (T)*. Faktor kontrol adalah kekerasan dan *Impact Energy*.
3. Parameter dalam penelitian ini ada 3 (tiga) yaitu: setiap *parameter (P)* memiliki *level (L)*. Perhitungan derajat kebebasan (DK) didapat 6 (enam) sehingga *orthogonal array* yang dipilih harus sama atau lebih dari 3 DK nya.
4. *Pelaksanaan pengujian.* Dalam penelitian ini terdapat 9 (sembilan) eksperimen (E) dengan *parameter* dan *level* yang berbeda, setiap eksperimen disesuaikan dengan kondisi *ortogonal array*.

3. HASIL DAN PEMBAHAN

3.1 Unsur kimia

Oservasi komposisi kimia *HRP Steel* menggunakan *Optical Emission Spectrometer Machines ARL type 3460* (Tabel 1), dengan rumus 1 – 4 diperoleh: $Ar_3 = 665\text{ }^{\circ}\text{C}$; $M_s \approx 357\text{ }^{\circ}\text{C}$; $M_f = 91\text{ }^{\circ}\text{C} - 182\text{ }^{\circ}\text{C}$ dibawah M_s .

TABEL 1. *HRP Steel* dengan ketebalan 10 mm

Unsur	C	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Fe
% berat	0,29342	0,55029	0,08337	1,41218	0,19303	0,27877	97,18894

Untuk menghindari berkurangnya *martensite* oleh aktivasi panas *temper*, temperatur *temper* harus dilakukan pada temperatur *temper* < M_f . Dengan temperatur *temper* < M_f diharapkan hanya terjadi pengurangan tegangan sisa.

3.2 Analysis of Varian (ANOVA)

Design *parameter* dan *level*. Masing-masing disusun, dipilih menghasilkan *orthogonal array* (Tabel 3 dan 4). Faktor kontrol kekerasan dan *Impact Energy* ditunjukkan dalam Tabel 2, Gambar 3 dan 4.

ANOVA (dua arah) digunakan untuk menentukan parameter yang memiliki pengaruh terhadap karakter kualitas (eksperimen ini terdiri dari 2 faktor atau lebih). Tabel 5 sd. 7 menunjukkan hasil pengolahan kekerasan dan *impact energy*, dan pengaruh dari tiap parameter. *ANOVA* (Tabel 8) dapat dilihat persen kontribusi tiap parameter. Parameter perlakuan panas yang memiliki kontribusi terbesar pada kekerasan adalah *holding time*, dan *impact energy* adalah *tempering*.

F hitung (F_h) sebagai pembanding F table (F_t) sehingga kedua kolom total dan *error* tidak dihitung. Jika $F_h > F_t$, maka hipotesa diterima. Jika $F_h < F_{tot}$, maka parameter eksperimen tidak memiliki pengaruh pada respon.

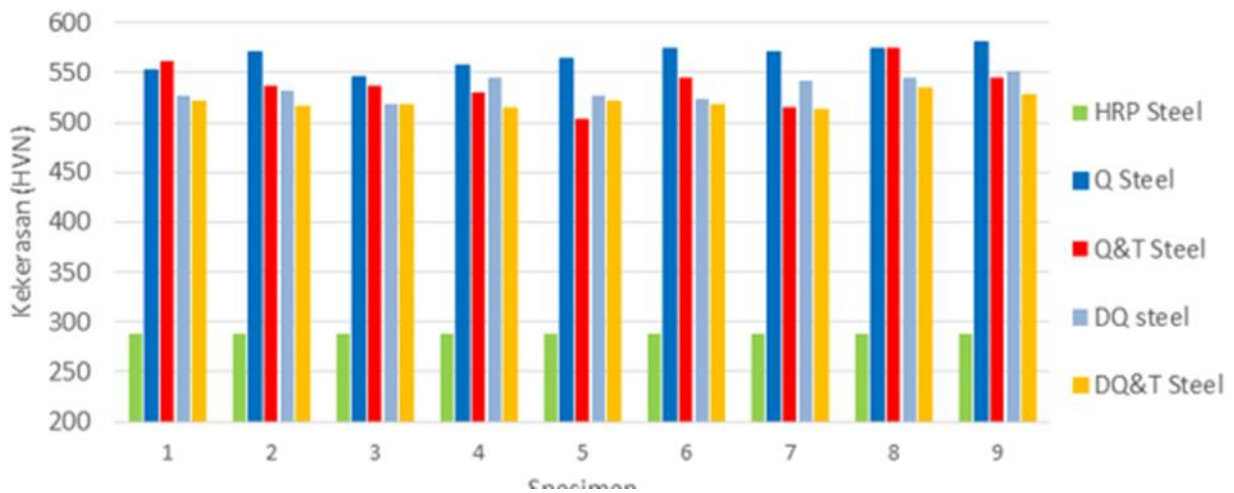
Prediksi performa optimal

Pada perhitungan *ANOVA*, hasil optimal didapat dari tiap parameter. Kemudian dilakukan perhitungan nilai prediksi optimal untuk mengukur apakah uji konfirmasi masih didalam batas toleransi atau tidak.

TABEL 2. Faktor Kontrol. (E = eksperimen)

E	Kekerasan (VHN)					Impact Energy – IE (Joule)		
	HRP Steel	Q Steel	Q&T Steel	D&Q Steel	DQ&T Steel	HRP Steel	Q&T Steel	DQ&T Steel
1	287,7	552	561	527	521,2	65,5	19,00	42,70
2	287,7	571	536	531,5	516,5	65,5	20,50	43,70
3	287,7	545	536	518	518,0	65,5	23,50	41,70
4	287,7	557	530	545	513,7	65,5	22,50	42,30
5	287,7	564	503	527	521,2	65,5	29,50	47,00
6	287,7	574	545	524	518,2	65,5	22,00	42,00
7	287,7	571	515	542	512,3	65,5	30,00	47,00
8	287,7	574	574	544	534,5	65,5	21,00	40,70
9	287,7	581	545	551	527,0	65,5	28,50	44,30

8 November 2017



GAMBAR 3. Perbandingan kekerasan *HRP Steel*, *Q Steel*; *Q&T Steel*; *DQ Steel*; *DQ&T Steel*

TABEL 3. Desain parameter dan level

<i>P (Parameter)</i>	<i>L (level)</i>		
	1	2	3
<i>Austenite - A (°C)</i>	870	885	900
<i> Holding - H (menit)</i>	15	30	45
<i>Temper - T (°C)</i>	125	150	175

TABEL 4. Orthogonal Array L_9

<i>E</i>	Faktor		
	<i>A</i>	<i>H</i>	<i>T</i>
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

TABEL 5. Hasil rata-rata dan *signal to noise (S/N)* untuk kekerasan dan *Impact Energy*

<i>E</i>	Kekerasan (<i>H</i>)					Impact Energy (<i>IE</i>)				
	Replikasi			\bar{H}	S/N Rasio	Replikasi			\bar{IE}	S/N Rasio
	<i>H</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>H</i> ₃			<i>IE</i> ₁	<i>IE</i> ₂	<i>IE</i> ₃		
1	515	507	542	521,17	54,33	41	45	42	42,67	32,58
2	515	520	515	516,50	54,26	43	44	44	43,67	32,80
3	515	515	524	518,00	54,29	39	43	43	41,67	32,37
4	511	515	515	513,67	54,21	43	41	43	42,33	32,53
5	533	520	511	521,17	54,34	47	49	45	47,00	33,43
6	524	516	515	518,17	54,29	43	40	43	42,00	32,45
7	515	507	516	512,33	54,19	50	46	45	47,00	33,42
8	547	524	533	534,50	55,56	41	41	40	40,67	32,18
9	515	533	533	527,00	54,43	49	42	42	44,33	32,87

TABEL 6. Respon Kekerasan dan *Impact Energy*

<i>L</i>	Kekerasan rata-rata			<i>Impact Energy</i> rata-rata		
	A	H	T	A	H	T
1	518,56	515,72	524,61	42,67	44,00	41,78
2	517,67	524,06	519,06	43,78	43,78	43,44
3	524,61	521,06	517,17	44,00	42,67	45,22
<i>Selisih</i>	6,94	8,33	7,44	1,33	1,33	3,44
<i>Rank</i>	3	1	2	3	2	1

TABEL 7. Respon *S/N* rasio

<i>L</i>	Kekerasan			<i>Impact Energy</i>		
	A	H	T	A	H	T
1	54,29189	54,24000	54,39000	32,58367	32,84000	32,40000
2	54,28000	54,38000	54,30000	32,80000	32,80000	32,73000
3	54,39269	54,33569	54,27052	32,82183	32,56158	33,06983
<i>Selisih</i>	0,113474	0,139822	0,120288	0,238161	0,279779	0,665037
<i>Rank</i>	3	1	2	3	2	1

TABEL 8. ANOVA; *SS* = sum of square; *SM* = square of mean; F_{tot} = F total; K = kontribusi.

<i>L</i>	ANOVA Kekerasan						ANOVA <i>Impact Energy</i>					
	<i>SS</i>	<i>DK</i>	<i>SM</i>	F_h	F_{tot}	K	<i>SS</i>	<i>DK</i>	<i>SM</i>	F_h	F_{tot}	K
<i>A</i>	257,056	2,00	128,528	1,37	3,49	9,43	9,185	2,00	4,593	0,68	3,49	4,44
<i>H</i>	320,667	2,00	160,333	1,71	3,49	11,76	9,185	2,00	4,593	0,68	3,49	4,44
<i>T</i>	269,556	2,00	134,778	1,44	3,49	9,89	53,407	2,00	26,704	3,96	3,49	25,83
<i>Error</i>	1878,389	20,00	93,919			68,91	134,963	20,00	6,748			65,28
<i>Total</i>	2725,667	26,00				100,00	206,741	26,00				100,00

1) Prediksi kekerasan

$$H_{prediksi} = A_3 + B_1 + C_3 - 2y$$

$$H_{prediksi} = 424,61 + 524,05 + 524,61 - 2(520)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah DK}} \rightarrow \eta_{eff} = \frac{9 \times 3}{1 + 6} = 3,86$$

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;2;20} \times MS_e \times \left(\frac{1}{n_{eff}}\right)} \rightarrow CI = \pm \sqrt{3,49 \times 93,9 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)} = \pm 9,22$$

$$H_{prediksi} = 532,72 \pm 9,22$$

8 November 2017

2) Prediksi *Impact Energy (IE)*

$$IE_{\text{prediksi}} = 44 + 44 + 45,22 - 2 \times (43)$$

$$IE_{\text{prediksi}} = 46,26$$

Interval kepercayaan

$$n_{\text{eff}} = \frac{9 \times 3}{1 + 3} = 6,75$$

$$CI = \pm \sqrt{3,49 \times 6.748 \times \left(\frac{1}{3,86}\right)} = \pm 2,47$$

$$IE_{\text{prediksi}} = 46,26 \pm 2,47$$

4 KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap kekerasan adalah *austenite holding*. Parameter tersebut adalah temperatur *austenite* 900 °C, *austenite holding time* 30 menit, dan temperatur *temper* 125 °C dengan nilai prediksi kekerasan 534.50 HVN.
2. Parameter yang memberikan pengaruh terbesar terhadap *impact energy* adalah *tempering*. Parameter tersebut adalah temperatur *austenite* 900 °C, *austenite holding time* 15 menit, dan temperatur *temper* 175 °C dengan nilai prediksi *impact energy* 47 Joule.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kepada yang terhormat Ir. Amung Somantri, MM. ketika selaku Manajer *Materials & Product Development* PT. Krakatau Steel (Persero) Cilegon Banten Indonesia yang telah memberikan bantuan berupa ijin observasi dan material *hot rolled plate steel* yang digunakan sebagai bahan penelitian.

REFERENSI

- [1] Sanij, M.H. Khani, Banadkouki, Ghasemi S.S., Mashregi, A.R., Moshrefifar, M., 2012, The effect of single and double quenching and tempering heat treatments on the microstructure and mechanical properties of AISI 4140 steel, *Materials and Design* 42 (2012), 339–346.
- [2] Liu, Jian, Yu hao, Shong C, Zhang Kai, 2104, Effect of double quenching and tempering heat treatment on the microstructure and mechanical properties of a novel 5Cr steel processed by electrosag casting, *Materials Scien & Engineering A* 619 (2014), 212-220.
- [3] Totten, GE, Bates, CE, Clinton, NA, *Handbook of Quenchant and Quenching Technology*, ASM International, USA, 1993.
- [4] ASM International, 2006. *Practical Heat Treating Second Edition*. Chapt. 2 Fundamental of the Heat Treating Steel.
- [5] Bhadesia, H.K.D.H. & Honeycombe, Robert, 2006, *Steels (Microstructure and Properties)*, 3rd ed., Elsevier, Ltd. Oxford, hal. 116.
- [6] Krauss, George., 1999, Martensite in steel: strength and structure, *Materials Science and Engineering A* 273–275 (1999): 40–57
- [7] G. Luxenburger, M. Bockelmann, P. Wolf, F. Hanus, R. Cawelius, J. Buchholz, High strength quenched and tempered (Q & T) steels for pressure vessels, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 81 (2004) 159–171.
- [8] Sampath, 2007, How to Choose Electrodes for Joining High-Strength Steels, *Welding Journal*, hal 26 – 28.
- [9] Messler, Robert W., Jr., 2004, *Principle of Welding (Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy)*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, hal. 547.
- [10] Soejanto, Irwan, 2009, *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Jogjakarta, 2009.

Pengaruh Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Tarik Dan Morfologi Serat Ijuk (*Arenga Pinnata*) Dan Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera*)

Irwan Suriaman^{1, 2, A)}, Mardiyati^{1, B)}, Jooned Hendrarsakti^{1, C)}, & Ari Darmawan Pasek^{1, D)}

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10
Bandung.40132

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan, Bandung

a) irwan_suriaman@yahoo.co.id b) mardiyati@material.itb.ac.id c) jooned@ftmd.itb.ac.id

d) aripasek@itb.ac.id

Abstract

*Indonesia has abundant production of natural fibers such as palm (*Arenga pinnata*) and coir (*Cocos nucifera*) fiber. Natural fibers are very promising materials for applications in composite, automotive and textile industry. For applications in the industry, it needs mechanical properties data such as tensile strength, stiffness and elongation. In this research, tensile testing of palm and coir fiber treated by alkaline and untreated fiber were investigated. The alkaline treatment of fiber used NaOH with concentrations of 1%, 3% and 5%. Tensile tests were performed according to ASTM D 1557. Morphology of the fiber was observed by using Scanning Electron Microscope (SEM). In this study, it can be concluded that the tensile strength of the treated fiber was higher than untreated fiber. The highest tensile strength of palm fiber was obtained from fiber with 5% alkali treatment of 1236 MPa, while for coir fiber of 346 MPa with 3% alkaline treatment. It was found that as compared to palm fiber, morphology of coir fiber had smaller holes, meanwhile palm fiber had dense fibers without hole.*

Keywords: *alkaline, coir, fiber, morphology, palm*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang kaya akan sumber daya hayati. Salah satu contoh pemanfaatan sumber daya hayati yang berkembang pesat saat ini adalah penggunaan serat alam dalam bidang industri. Faktor yang menjadi alasan pemilihan serat alam dalam industri adalah karena bahan serat alam ramah lingkungan, selain itu serat alam merupakan bahan yang murah, mudah diproses serta dapat diperbaharui [1,3,7].

Aplikasi serat alam dalam bidang industri antara lain pada industri komposit, otomotif dan industri tekstil. Pemanfaatan serat alam dalam bidang komposit contohnya pembuatan batu bata untuk bahan bangunan, campuran beton, bahan aspal, bahan untuk peralatan dan hiasan rumah tangga. Untuk bidang otomotif komposit banyak diaplikasikan pada bahan pintu (*door panel*), peredam suara (*noise insulation*), *interior insulation* serta *seat back* [2,3,7]. Pada industri tekstil aplikasi serat alam seperti: bahan pakaian, filter serta penahan longsor pada tanggul air.

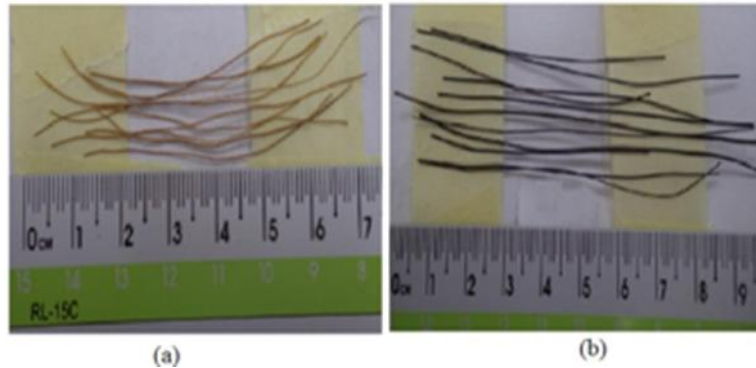
Pemanfaatan serat alam dalam bidang industri diperlukan data awal mengenai karakterisasi dan sifat mekanik serat. Karakterisasi serat dapat berupa: diameter serat, kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa, sedangkan sifat mekanik meliputi: kekuatan tarik, morfologi, kekakuan dan *elongation*. Fidelis dkk telah melakukan uji tarik (*tensile strength*) serat sabut kelapa (*coir*) tanpa perlakuan alkali, panjang serat 40 mm dengan kekuatan tarik 90 MPa [6]. Percobaan uji tarik serat sabut kelapa juga telah dilakukan oleh Omrani dkk. dan Rowell dkk. yang menghasilkan kekuatan tarik 175 MPa [3,6]. Proses alkalisasi merupakan metode yang paling banyak digunakan saat ini untuk mengurangi kadar serat sabut kelapa dan ijuk dari komponen non selulosa seperti lignin, hemiselulosa, pektin, gum dan pengotor yang lain. Selain itu dengan perlakuan alkali kekasaran permukaan serat akan memperbaiki sifat antar muka sehingga meningkatkan kekuatan dan kekakuan serat [4,5].

Pada penelitian ini akan dilakukan uji tarik dan pengamatan morfologi dari serat sabut kelapa dan ijuk yang telah diberikan perlakuan alkali dan tanpa alkali, untuk mengetahui data awal sifat mekanik dan morfologi dari serat tersebut sehingga dapat diaplikasikan secara optimal.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pada penelitian ini digunakan serat sabut kelapa dan ijuk yang diperoleh dari pedagang serat alam di kota Bandung, Jawa Barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Serat hayati (a) sabut kelapa (b) ijuk.

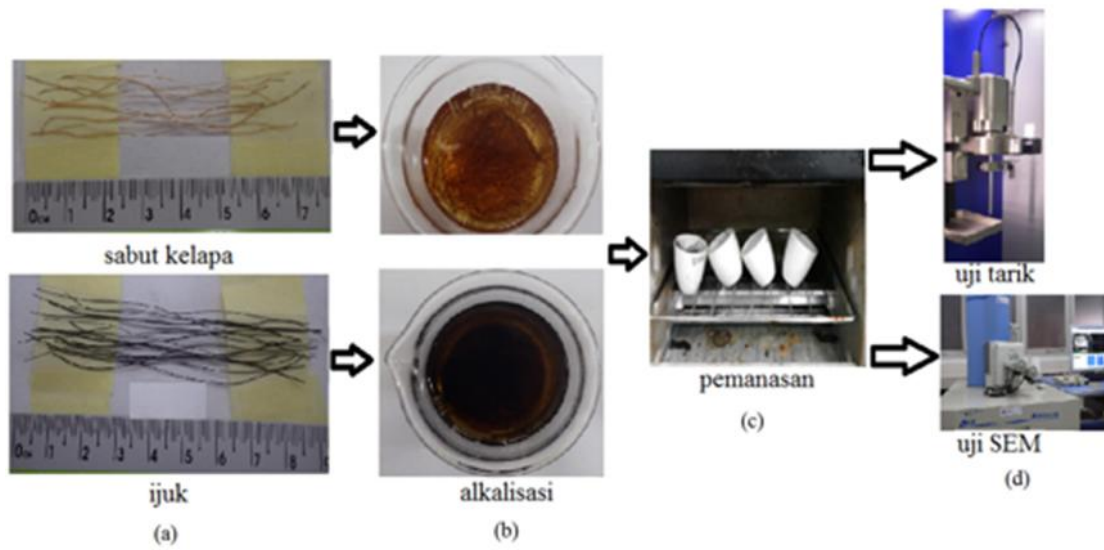
Untuk bahan alkali (NaOH) yang digunakan untuk proses alkalisasi serat sabut kelapa dan ijuk diperoleh dari toko bahan kimia Bratachem kota Bandung, Jawa Barat.

Uji tarik (*tensile strength*) sesuai standar ASTM D 1557 dengan menggunakan mesin Favigraph. Untuk mengamati morfologi serat digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Uji tarik dan SEM dilakukan di Balai Besar Tekstil, Bandung.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan dua jenis serat sebagai bahan uji yaitu sabut kelapa dan ijuk. Kedua serat diberikan perlakuan alkali dengan menggunakan NaOH dan tanpa perlakuan alkali. Perlakuan alkali divariasikan dengan konsentrasi NaOH 1%, 3% dan 5%. Sabut kelapa dan ijuk diberikan perlakuan alkali dengan direndam menggunakan air dan ditambahkan NaOH sesuai konsentrasi yang diberikan, dengan waktu perendaman selama 2 jam pada suhu ruangan. Setelah itu sampel dikeringkan selama 2 hari pada suhu ruangan, kemudian diberikan perlakuan panas dalam oven pada temperatur konstan sebesar 50 °C selama 1 jam. Tahap terakhir adalah sampel dilakukan uji tarik dan SEM, untuk tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

8 November 2017



GAMBAR 2. Tahapan percobaan dimulai dari (a) sampel serat sabut kelapa dan ijuk disiapkan, (b) proses alkalisasi pada serat dengan kadar NaOH 1%, 3% dan 5% , (c) sampel dipanaskan pada suhu konstan 50 °C dan tahap akhir penelitian (d) dilakukan uji tarik dan SEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dari serat sabut kelapa dan ijuk menunjukkan bahwa sabut kelapa dan ijuk mengalami peningkatan kekuatan tarik setelah dilakukan proses alkali. Berikut akan dijelaskan lebih rinci hasil pengolahan data yang diperoleh serta foto dari hasil uji SEM yang dilakukan. Sebagai tahap awal penelitian dilakukan uji kandungan lignoselulosa dengan metode Chesson Datta. Hasil pengujian kandungan lignoselulosa dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil uji lignoselulosa serat menunjukkan kadar selulosa pada sabut kelapa 41,87% dan ijuk 38,86%, kandungan lignin sabut kelapa 24,92% dan ijuk 37,78% serta kandungan hemiselulosa sabut kelapa 21,56% dan ijuk 18,09%. Kandungan selulosa yang cukup tinggi pada sabut kelapa dan ijuk menunjukkan bahwa serat ini sangat berpotensi untuk diaplikasikan menjadi material yang membutuhkan kandungan selulosa yang tinggi.

TABLE 1. Kandungan lignoselulosa sabut kelapa dan ijuk.

Jenis Serat	Kandungan lignoselulosa (%)			
	Lignin	Hemiselulosa	Selulosa	Zat ekstraktif
Sabut kelapa	24,92	21,56	41,87	11,65
Ijuk	37,78	18,09	38,86	5,27

8 November 2017

Hasil Uji Tarik

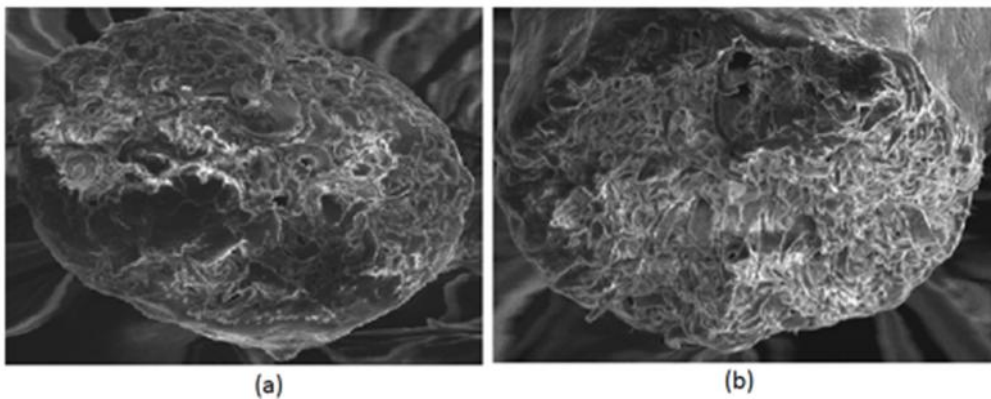
Hasil uji tarik serat sabut kelapa dan ijuk dalam kondisi tanpa perlakuan alkali dan perlakuan alkali pada konsentrasi 1%, 3% dan 5% dapat dilihat pada Tabel 2. Dari tabel perhitungan diperoleh bahwa kekuatan tarik maksimum terjadi pada proses alkali 5% pada serat ijuk, dengan kekuatan tarik mencapai 1236 MPa sedangkan pada sabut kelapa hasil kekuatan tarik maksimum tercapai pada proses alkali 3% sebesar 346 MPa. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH pada proses perlakuan alkali terhadap sabut kelapa dan serat ijuk, maka kekuatan tarik dan kekakuan serat akan semakin tinggi pula.

TABLE 2. Hasil uji tarik sabut kelapa dan ijuk dengan tanpa alkali dan alkali 1%, 3% dan 5%.

Tanpa Alkali			
Jenis serat	Rata-rata diameter serat (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Kekakuan (Gpa)
Sabut kelapa	0,14	312 ± 3,52	14,86 ± 3,48
Ijuk	0,13	975 ± 2,77	17,73 ± 2,94
± = standar deviasi data			
Alkali 1%			
Jenis serat	Rata-rata diameter serat (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Kekakuan (Gpa)
Sabut kelapa	0,14	337 ± 2,61	15,22 ± 1,78
Ijuk	0,13	995 ± 3,87	18,33 ± 3,41
± = standar deviasi data			
Alkali 3%			
Jenis serat	Rata-rata diameter serat (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Kekakuan (Gpa)
Sabut kelapa	0,14	346 ± 4,87	16,44 ± 5,18
Ijuk	0,13	1176 ± 5,23	19,24 ± 4,97
± = standar deviasi data			
Alkali 5%			
Jenis serat	Rata-rata diameter serat (mm)	Kekuatan tarik (MPa)	Kekakuan (Gpa)
Sabut kelapa	0,14	265 ± 3,61	13,54 ± 3,82
Ijuk	0,13	1236 ± 6,77	21,31 ± 5,65
± = standar deviasi data			

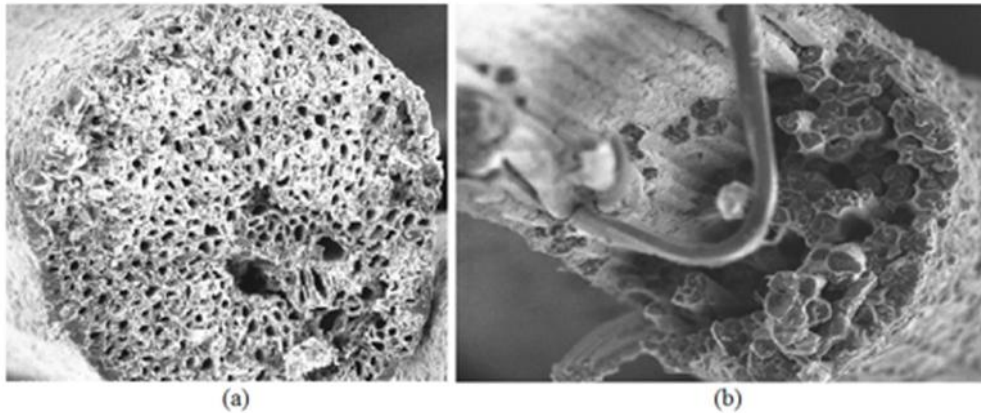
Hasil Uji Morfologi

Hasil uji morfologi menunjukkan serat sabut kelapa dan ijuk pada kondisi tanpa perlakuan alkali ditunjukkan pada Gambar 3. Dari hasil tersebut terlihat masih tingginya kandungan lignoselulosa dan gum baik sabut kelapa maupun ijuk sehingga pada strukturnya belum terlihat jelas antara *fibril* dan *microfibril*. Namun setelah dilakukan alkali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, pada konsentrasi 3% struktur pada serat sabut kelapa dan ijuk cenderung telah jelas struktur serat baik *fibril* maupun *microfibril* yang merupakan bagian serat yang memberikan pengaruh pada kekuatan dan kekakuan serat [4,5,7].



GAMBAR 3. Hasil SEM serat tanpa perlakuan alkali (a) sabut kelapa (b) ijuk.

Serat sabut kelapa dan ijuk tanpa perlakuan alkali akan memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi sehingga struktur serat terlihat padat, namun setelah dilakukan alkali maka struktur akan tampak jelas bagian *fibril* dan *microfibril*. Hal tersebut akan mempengaruhi kekuatan dan kekakuan serat sabut kelapa dan ijuk. Pada proses alkali akan diperoleh kondisi optimum untuk konsentrasi NaOH agar dihasilkan kekuatan tarik dan kekakuan serat yang maksimal [4,6].



GAMBAR 4. Hasil SEM serat dengan perlakuan alkali 3% (a) sabut kelapa (b) ijuk.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan alkali berpengaruh terhadap morfologi dan sifat tarik dari serat. Kekuatan tarik tertinggi serat ijuk diperoleh pada perlakuan alkali 5% sebesar 1236 MPa, sedangkan untuk serat sabut kelapa sebesar 346 MPa dengan perlakuan alkali 3%. Hasil uji SEM pada serat sabut kelapa dan ijuk dengan perlakuan alkali 3% menunjukkan bahwa morfologi serat tampak jelas struktur *fibril* dan *microfibril* yang ini dapat memberikan pengaruh pada kekuatan dan kekakuan serat sabut kelapa dan ijuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia dalam negeri (BUDI-DN) atas kerja sama Dikti dengan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP).

REFERENSI

1. Chaib H., Kriker A., dan Mekhermeche A. (2015). *Thermal study of earth bricks reinforced by date palm fibers*. Energy Procedia 74, 919–925.
2. Fedelis M.E.A., Pereira T.V.C., Gomes O.de F.M., Silva F.deA. dan Filho R.D.T. (2013). *The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers*. Journal of Materials research and technology. 2(2), 149-157
3. Omrani E., Menezes P., dan Rohatgi P.K., (2016). *State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fiber in the green material word*. Engineering Science and technology an International journal. 19.717–736.
4. Pickering, K. L., Efendy, M. G. A., dan Le, T. M. (2015). *A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 83, 98–112.
5. Rizkiansyah, R. R., Senoaji, A., Suratman, R., dan Treatment, M. (2016). *Trifasciata fiber Effects of Alkali Treatment on The Mechanical and Thermal Properties of Sansevieria trifasciata Fiber*. (200) 43, 2–7.
6. Rowell, R. M., Han, J. S., dan Rowell, J. S. (2000). *Characterization and Factors Effecting Fiber Properties Natural Polymers an Agrofibers Composites*. 115–134
7. Strong, A. Brent. (2006). *Handbook of Plastics: Materials and Processing 3rd*.

Perancangan Dan Pembuatan Mesin “Metal Injection Molding” Untuk Aplikasi Braket Ortodonti

Ahmad Ashari^{1, A)*}, Sefrika Tri Ayuningtyas^{1, B)}, Tamie Widjaya^{1, C)}, Sugeng Supriadi^{2, D)},
& Bambang Suharno^{1, E)}

¹ Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok

² Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok.

a) ashari@metal.ui.ac.id b) sefrika.tri@metal.ui.ac.id c) tamie.widjaya@metal.ui.ac.id

d) sugeng@eng.ui.ac.id e) suharno@metal.ui.ac.id

Abstract.

Malocclusion is one of the common problems encountered in the teeth and mouth of Indonesian people. Indonesia is also confronted with problems that the bracket has been imported from abroad which is more expensive and not suitable for Indonesian dental structures. The purpose of this study is to developed metal injection molding machine (MIM) for bracket orthodontic application. Metal Injection Molding is a process which combined injection molding process for polymer and powder metallurgy. This machine is consisted of three primary parts which are injection, mold and clamping. The injection part is consisted of air cylinder, hopper, barrel, screw, heater and nozzle whereas cast section is consisted of mold which can be re-assembly. In injection process, feedstock is fed through hopper in order to distributed in barrel. Inside the barrel, the heater would heat the feedstock so, it would become semi liquid material then screw will push it pass the nozzle into the mold cavities with pneumatic principle from pump pressure. The outcome from the pressure that is produced from this injection tool is 5.2 kN/m^2 with temperature specification for barrel, nozzle and mold are $\pm 100^\circ\text{C}$, $\pm 200^\circ\text{C}$ and $\pm 50^\circ\text{C}$. The injection speed and clamping force that this machine produced is about 89 m/min and 3 kN/m^2 . This machine is already tested using SS 17-4 PH as feedstock with a form of cube product ($5 \times 5 \times 5 \text{ mm}$) and also bracket product. Based on this trial, the result showed high dimension accuracy from 50 random sample which has error function about $\pm 0,008$ in x axis, $0,014$ in y axis and $0,124$ in z axis for green part , ± 0.018 in x axis, $\pm 0,051$ in y axis and $\pm 0,092$ in z axis for *brown part*, and then ± 0.076 in x axis, $\pm 0,069$ in y axis dan $\pm 0,074$ in z axis after sintering specimen.

1. PENDAHULUAN

Maloklusi merupakan salah satu masalah yang umum ditemukan pada penduduk Indonesia. Masalah tersebut terjadi hingga mencapai presentase 90%. Maloklusi ini dapat disembuhkan dengan menggunakan braket ortodontik. Didalam penyelesaiannya, Indonesia dihadapkan oleh beberapa permasalahan, salah satunya ialah pasokan braket ortodontik di Indonesia merupakan produk impor, sehingga braket ini memiliki harga yang relatif mahal dan juga tidak sesuai dengan struktur gigi penduduk Indonesia [1]. Maka dari itu, terdapat pembahasan agar Indonesia dapat memproduksi braket ortodontik secara nasional atau yang disebut sebagai behel nasioanl. Penelitian ini juga merupakan salah satu upaya yang dilakukan sebagai bentuk dukungan terhadap program pengadaan alat kesehatan dalam negeri yang diprediksi untuk dapat berjalan ditahun 2020. Untuk dapat memenuhi kebutuhan aplikasi sebagai alat kesehatan yang berperan mengatasi masalah maloklusi, braket tersebut harus diproduksi secara akurat, baik dari segi bentuk, tingkat kekuatan, maupun dengan ketahanan korosi serta biokompabilitasnya. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Tjokro dan Supriadi [1,2] mengenai proses *investment casting* braket ortodontik material SS 17-4 PH, diketahui bahwa proses ini tidak berlangsung efektif karena berpotensi terjadinya cacat berupa *shot-shot*, *air-trap* dan *shrinkage*. Dari hasil pengecoran 120 braket, 40 diantaranya gagal sedangkan 80 produk pengecoran yang berhasil menunjukkan adanya ketidaksempurnaan 5 aspek parameter dari 12 parameter yang harusnya terpenuhi. Kelima aspek parameter yang tidak dapat terpenuhi pada saat pembuatan produk menggunakan metoda *investment casting* yakni lebar *slot*, ketinggian *wing*, panjang basis, panjang *wing* tambahan serta panjang *wing* dari atas sampai bawah [2]. Evaluasi dari penelitian tersebutlah yang kemudian mengantarkan dikembangkannya proses *metal injection molding* yang dipercaya memiliki kepresisian tinggi untuk mencetak suatu produk dengan dimensi kecil seperti braket.

Berdasarkan penelitian, mesin *injection moulding* menawarkan banyak kelebihan untuk dipertimbangkan sebagai sebagai suatu proses manufaktur braket dengan bentuk yang relatif rumit dan ukuran dimensi yang sangat kecil. Dengan menggunakan mesin injeksi logam ini, bentuk-bentuk komponen volume kecil dapat dihasilkan dengan efektifitas biaya yang baik ditambah lagi *losses* dari *scrap* yang dihasilkan sangat minim karena scrap yang dihasilkan dari pemrosesan dapat dilebur kembali dan di *recycle* [3].

8 November 2017

Meskipun braket terkenal juga dengan bentuknya yang rumit, hal ini tidak perlu dikhawatirkan karena proses manufaktur dengan injeksi logam ini membutuhkan proses finishing yang sangat minim dan menghasilkan bentuk akhir permukaan yang halus.

Metal Injection Molding (MIM) mirip dengan proses *injection molding* pada plastik namun dikembangkan dan dikolaborasikan dengan proses metalurgi serbuk di dalamnya [4]. Proses ini memerlukan *feedstock* sebagai *raw material* yang terbuat dari campuran serbuk logam dan *binder* yang dituangkan ke dalam silinder pemanas atau lebih dikenal sebagai *barrel*. Setelah dipanaskan *feedstock* akan mengalir akibat adanya panas yang diberikan sehingga akan tercampur dan terdorong ke bagian ujung mesin injeksi oleh gaya tekan yang diberikan oleh hidraulik sehingga terjadi peningkatan tekanan pada saat *feedstock* melewati *nozzle* dan terdorong mengalir menuju cetakan.

2. Perancangan dan pembuatan alat mim

2.1 Material

Material yang digunakan untuk perancangan alat injeksi ini dibagi menjadi 3 bagian komponen utama yakni bagian system pneumatic, bagian rangka mesin injeksi logam dan bagian pemanas. Spesifikasi material yang digunakan dapat dilihat dari tabel dibawah.

TABEL 1. Spesifikasi material yang digunakan dalam perakitan.

<i>Part Pneumatic System</i>			<i>Spare Part Metal Injection Moulding</i>		
No	Part Name	Jumlah	No	Part Name	Jumlah
1	Air Cylinder DAS 80x150	1 pcs	1	Nozzle	1 pcs
2	Air Cylinder DAS 100x300	1 pcs	2	Barrell Stainless steel SS431	1 pcs
3	Togle 4/3 Way	2 pcs	3	Reil rod	2 pcs
4	Hose 8x5 mm	10 m	4	Slide roll Bushing	2 pcs
5	Np Clip 08-02	8 pcs	5	Hopper Stainless steel 304	1 pcs
6	ARV for DAS	2 pcs	6	Main Holder Blok L Shape	2 Set
7	Npl For DAS	2 pcs	7	Main Holder Blok Plate Shape	1 Set
8	Coupler Pneumatic	1 set	8	B1 HT ss 8x45	20 Pcs
<i>Thermo Control Set</i>			9	B1 FD ss 8x45	20 pcs
No	Part Name	Jumlah	10	B1 ss 12x25	8 pcs
1	Thermo Control	1 set	11	B1 ss 10 x25	8 pcs
2	Thermo Couple Type K	1 set	12	Base Plate 20 mm thk	2 Set
3	Panel Box	1 set	13	Bracket DAS 100x300	1 Set
			14	Bracket DAS 80x150	1 Set
			15	Cooling back Plat	1 pcs

2.1.1 Peralatan

Proses perakitan mesin injeksi ini dilakukan berdasarkan desain dari gambar teknik yang telah dibuat. Untuk proses perakitannya beberapa peralatan pendukung yang diperlukan untuk menunjang proses ini berupa;

1. *Band saw machine*, untuk memotong frame utama mesin yang terbuat dari baja profil.
2. Mesin las listrik, untuk menyatukan rangka *base frame*.
3. Mesin *milling*, untuk meratakan dan *machining* pada plat dan blok mesin.
4. Mesin bubut, untuk melakukan pembubutan silinder penempat dan pembuatan baut.
5. Mesin bor , untuk melakukan *boring* lubang baut.
6. Mesin EDM , untuk membuat *dies* pada *cavity* dan pada bagian bagian yang rumit.
7. Mesin Potong *Wire* , pembuatan *dies* blok dan pemotongan pada *dies*.
8. *Shear cutting machine*, untuk pemotongan plat.

2.2.2 Proses Perakitan Alat

Proses perakitan alat diawali dengan pemasangan *base frame* pada bidang yang rata. *Base frame* kemudian dipasangkan dengan *air cylinder* utama beserta penempatnya menggunakan baut.

Setelah kerangka selesai disusun, *barrel* dan *plunger injection unit* dipasang pada tempatnya dilengkapi dengan *pneumatic system* dibagian ujung-ujung kerangka. Proses kemudian dilanjutkan dengan pemasangan *hopper* diatas rangkaian *barrel*. Untuk menimbulkan efek pemanasan di dalam mesin injeksi, alat *heating unit* dan *thermo control* juga dipasang pada *base frame* dengan sambungan baut. Untuk memberikan gaya tahan pada *dies*, pada mesin juga dipasang *cylinder* pendorong. Setelah semua unit terpasang selanjutnya dilakukan uji coba kelurusan sumbu kerja *injection* dan *cavity dies unit*. Setelah dinyatakan layak maka proses *running* dan produksi pencetakan material dapat dilakukan.

Prosedur Penggunaan Alat

Untuk mengoperasikan alat ini, prosedur pertama yang harus dilakukan oleh operator adalah *setting* temperature dimana suhu yang diatur ini tergantung dari jenis *feedstock* yang digunakan. Dalam penelitian ini, digunakan *feedstock* berjenis SS 17-4PH yang memiliki spesifikasi temperature proses 200°C, maka dari itu *setting* temperature yang dilakukan sebesar nilai spesifikasi yang tertera.

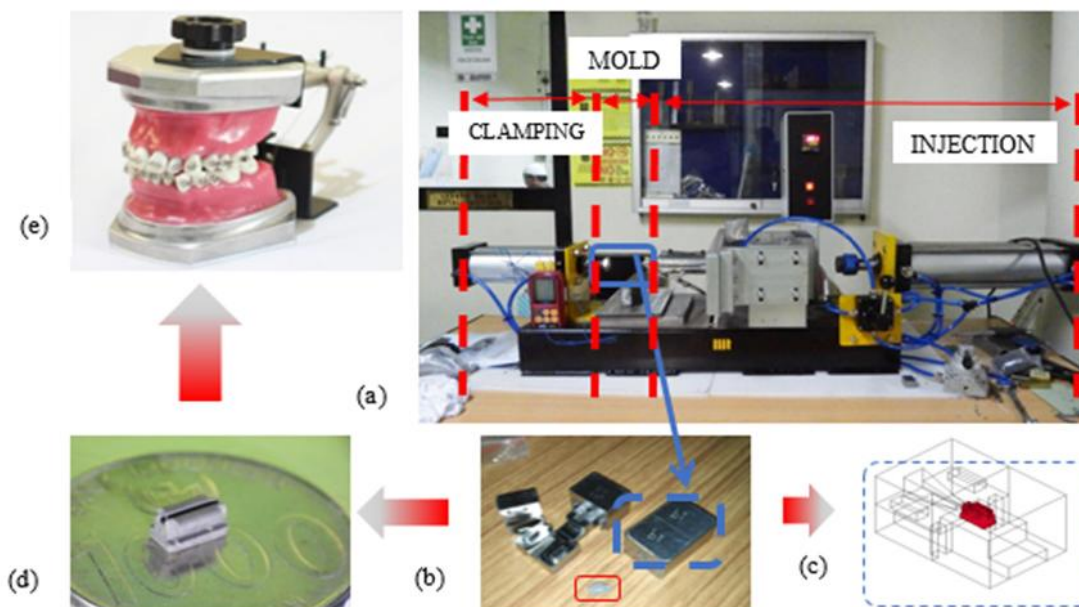
8 November 2017

Untuk alat ini sendiri sebenarnya menggunakan elemen pemanas yang temperaturnya bisa diatur mencapai 400°C . Setelah menunggu beberapa menit hingga suhu mencapai nilai yang diinginkan, maka *feedstock* dimasukan melalui *hopper* kedalam *barrel*. Setelah *feedstock* dimasukan *plunger injection* digerakan setelahnya untuk mengarahkan *feedstock* ke area yang dekat dengan *heater* agar material mengalami pemanasan dan berubah menjadi *semi solid material*. Langkah selanjutnya adalah memasang *dies* secara manual di depan *nozzle* dan menahan pergerakan *dies* ini menggunakan actuator *cylinder* berkekuatan agar tidak terjadi perpindahan lokasi *dies* ketika proses injeksi. Ketika semua sudah dipastikan siap *plunger injection* ini didorong untuk menekan *feedstock* kearah *nozzle* dan masuk ke cetakan. Setelah selesai cetakan kemudian diambil dan produk hasil injeksi dikeluarkan dari cetakan secara manual. Setelah selesai penggunaan suhu elemen pemanas ini diturunkan secara berkala sebelum dimatikan guna menghindari *thermal shock*.

3. Uji coba alat

3.1 Gambar Desain Alat dan Produk Jadi

3.2 Gambar Desain yang Dibuat



GAMBAR 1. (a) alat injection molding ,(b),(c), (d) produk injection braket (e) aplikasi braket

Alat *metal injection molding* umumnya terdiri dari 3 bagian utama yakni bagian *injection*, *mold* dan *clamping*. Bagian *injection* tersusun atas beberapa part seperti *air cylinder*, *hopper*, *barrel*, *screw*, *heater* dan *nozzle* sedangkan daerah *mold* tersusun dari cetakan yang dapat di lepas-pasang. Untuk bagian *clamping*, komponen penyusunnya terdiri dari *air cylinder* dan piston penahan yang gerakannya dapat diatur maju-mundur untuk menyesuaikan bentuk cetakan yang digunakan.

Prinsip Kerja

Mesin *injection moulding* memiliki prinsip mesin pneumatik dengan gaya yang berasal dari silinder kerja sebagai penggerak dalam sistem kontrol pneumatik. Prinsip *pneumatic* memanfaatkan udara terkompresi untuk menghasilkan suatu kerja dalam bentuk pergerakan lurus melalui perantara berupa silinder. Silinder ini dapat menggerakkan *plunger* berjalan secara linier sehingga silinder ini disebut aktuator linier [5].

Jenis aktuator yang digunakan yakni silinder *pneumatic aksi ganda* karena kerja yang dibutuhkan bukan hanya pada gerakan maju tetapi juga gerakan mundur. Gaya dorong yang dimiliki *plunger/clamp* ini berasal dari silinder penggerak akibat adanya udara bertekanan didalamnya. Besarnya tenaga yang dihasilkan tergantung pada besarnya tekanan, luas penampang serta gesekan yang timbul antara dinding dalam dengan batang toraknya [5]. Tekanan yang dihasilkan pada alat injeksi ini yaitu $\pm 5.2 \text{ kN/m}^2$ dengan kecepatan injeksi 89 m/min sedangkan spesifikasi temperatur pada *barrel* yang dipanaskan dengan elemen pemanas yakni $\pm 100^\circ\text{C}$, *nozzle* $\pm 200^\circ\text{C}$ dan *mold* $\pm 50^\circ\text{C}$. *Mold* juga turut serta dipanaskan untuk agar semi-solid material yang diinjeksikan dapat memenuhi seluruh cetakan dan tidak terjadi kekosongan akibat materialnya telah membeku sebelum masuk ke rongga. Untuk memulai proses injeksi, *feedstock* dimasukan kedalam *hopper* dan terdeposit pada *barrel*. Di dalam *barrel*, *feedstock* perlahan-lahan akan berubah menjadi semi-liquid dan siap untuk diinjeksikan ke cetakan. Dengan menggunakan udara bertekanan dari aktuator sebagai pemberi gaya, *plunger* akan bergerak mendorong semi-liquid sampai zona injeksi untuk masuk ke dalam *nozzle* dan dialirkan menuju cetakan. Cetakan ditahan dengan unit *clamping* menggunakan gaya 3 kN/m^2 guna menahan pergerakan cetakan ketika proses injeksi.

Uji Coba Alat untuk Memproduksi Spesimen Kubik

Mesin *metal injection molding* ini telah di uji coba dengan menggunakan cetakan kubus atau *cubic* dengan dimensi 5 mm x 5 mm x 5m m. Specimen yang dihasilkan dalam 1 kali proses injeksi ialah berjumlah 2 buah produk tersebut dikenal sebagai *green part*. Lalu, spesimen akan dilakukan proses selanjutnya, yaitu proses *debinding*, yang dimana dalam proses ini *binder* di hilangkan dengan cara pemanasan agar terjadi dekomposisi, pelelehan maupun penguapan. Proses *debinding* dapat dilakukan dengan cara *solvent debinding* dan juga *thermal debinding*. Spesimen yang telah dilakukan *debinding* akan meninggalkan poros didalamnya dan disebut dengan *brown part*. Setelah itu, spesimen dilakukan proses *sintering* untuk menghilangkan poros yang terbentuk akibat *debinding* dan terjadi pemadatan sehingga kekuatan dari produk meningkat.

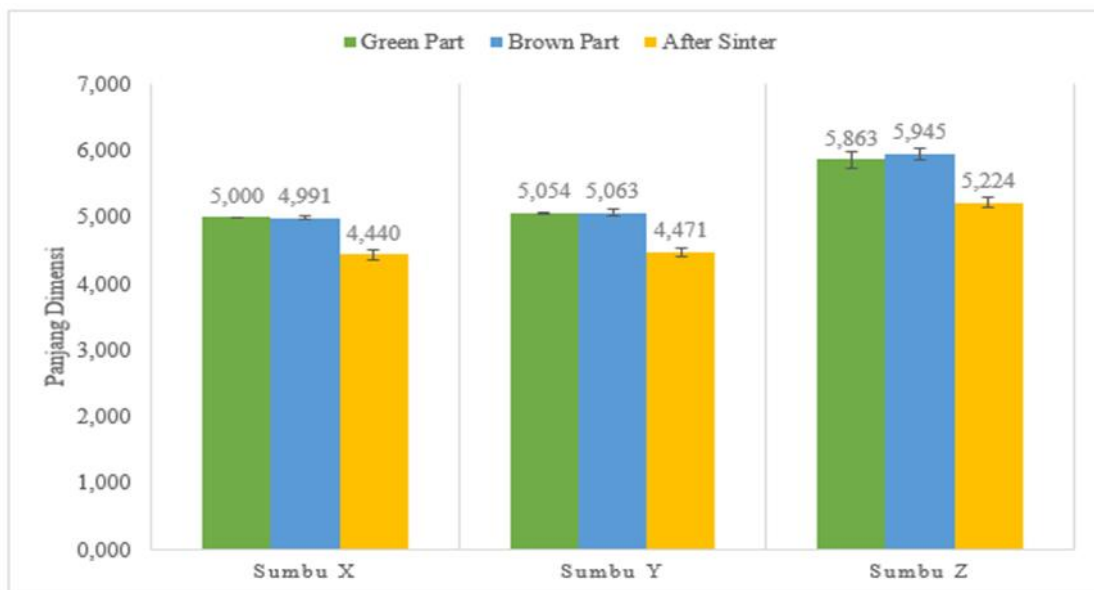
Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh G. Maulana (2017) [6] mengenai *solvent debinding*, memperlihatkan bahwa perlakuan *solvent debinding* dengan menggunakan perlakuan agitasi akan lebih cepat (60 menit) dibandingkan dengan perlakuan normal dan vakum (90 menit). Lalu dengan waktu *debinding* yang sama jumlah *binder* yang hilang dengan perlakuan agitasi lebih besar dibandingkan dengan perlakuan normal dan juga vakum. Hal ini disebabkan dengan adanya perlakuan agitasi, maka partikel pelarut akan bergerak ke seluruh bagian dan tidak terendap pada bagian dasar larutan saja [6].

R. Hidayatullah (2017) [7] melakukan penelitian mengenai *thermal debinding* dan memperlihatkan bahwa proses *thermal debinding* akan dipengaruhi oleh suhu, waktu dan juga laju pemanasan. Proses *thermal debinding* sendiri berbeda dengan *solvent debinding* yang dimana pada proses *thermal debinding* dibutuhkan suhu yang lebih tinggi dan juga waktu yang lebih lama. Didalam penelitiannya memperlihatkan bahwa suhu yang paling optimum ialah sebesar 480⁰C dengan penghilangan massa yaitu 6.413 wt%, suhu tahan yang paling tinggi ialah selama 2 jam dengan penghilangan massa sebesar 6.255 wt% dan besar laju pemanasan yang optimum ialah sebesar 0.5⁰C/min dengan penghilangan massa sebesar 6.2499 wt%. Setelah proses *debinding* ini selesai, maka produknya akan disebut dengan *brown part* [7].

Proses *sintering* dilakukan pada suhu yang tinggi, yaitu sekitar 1000⁰C-1300⁰C tetapi, masih berada dibawah suhu leleh logamnya.

8 November 2017

Akibat suhu yang tinggi ini, maka partikel akan mengikat satu dengan yang lainnya dan membentuk *necking* sehingga densitas produk akan meningkat dan pori-pori akan menghilang. Proses *sintering* telah dilakukan oleh H. Saputro (2017) [8] yang dimana ia membahas mengenai pengaruh suhu (*sintering*) dengan atmosfer vakum dan waktu 90 menit. Didalam penelitiannya memperlihatkan bahwa dengan suhu *sintering* yang optimum untuk meningkatkan kekerasan dari produk ialah sebesar 1360°C karena suhu yang digunakan lebih tinggi dari suhu optimumnya maka akan menyebabkan pertumbuhan butir yang akan berakibat pada penurunan kekuatan dan juga kekerasan dari produk hasil *sintering*. Didalam penelitian ini, spesimen kubus yang telah dilakukan proses injeksi ditentukan sumbu x, y dan juga z untuk melihat kestabilan dimensinya. Dari pengujian ini, beberapa spesimen acak di hitung masing-masing dimensinya pada sumbu x, y dan z dan menghasilkan kestabilan dimensi yang cukup baik dengan standar *error* dari masing masing sumbu x, y dan z secara berturut-turut ialah ± 0.008 , $\pm 0,014$ dan $\pm 0,124$ untuk *green part*, ± 0.018 , $\pm 0,051$ dan $\pm 0,092$ untuk *brown part*, dan juga ± 0.076 , $\pm 0,069$ dan $\pm 0,074$ untuk specimen hasil sinter. Grafik dibawah ini menunjukkan hasil dari kestabilan dimensi yang didapatkan. Berdasarkan hasil tersebut, didapatkan bahwa kestabilan dimensi cukup tinggi.

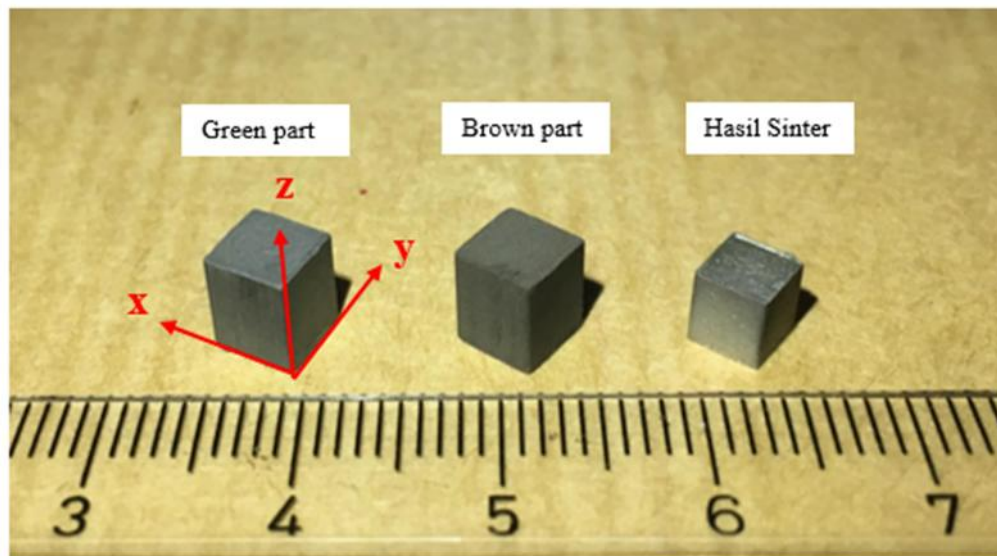


GAMBAR 2. Kestabilan dimensi dari sumbu x, y dan z

Proses *debinding* yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan *solvent debinding* dengan metode agitasi yang diiringi dengan suhu sebesar 50°C selama 90 menit.

8 November 2017

Setelah itu, dilanjutkan dengan proses *thermal debinding* dengan suhu sebesar 510°C , laju pemanasan sebesar $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ dan juga waktu tahan sebesar 1 jam. Penggunaan *debinding* tersebut memiliki tujuan untuk menghilangkan *binder* secara keseluruhan. Setelah itu, *sintering* dilakukan dengan menggunakan atmosfer vakum, suhu 1360°C dengan waktu tahan sebesar 1,5 jam agar didapatkan kekerasan maksimum dari spesimen yang dimana kekerasan tersebut dapat melebihi kekerasan braket ortodontik pada umumnya.



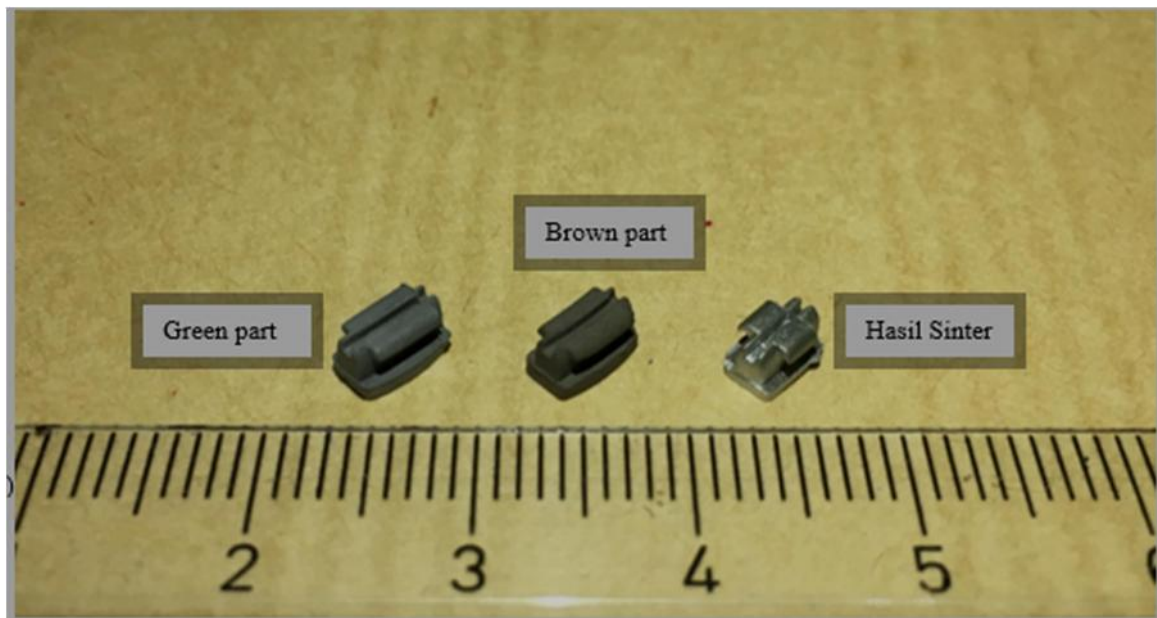
GAMBAR 3. Hasil injeksi spesimen kubus (green part, brown part dan sintering)

Uji Coba Alat untuk Memproduksi Spesimen Braket

Proses *metal injection molding* ini juga dilakukan untuk menguji coba spesimen dengan bentuk braket. Didalam proses ini hampir sama dengan proses penginjeksian menggunakan spesimen kubus, tetapi yang berbeda ialah penggunaan cetakannya. Cetakan yang digunakan pada pengujian ini memiliki bentuk braket. Dalam satu kali proses injeksi, spesimen yang didapatkan hanya berjumlah 1 buah. Produk dari hasil proses injeksi ini disebut juga dengan *green part* karena di dalam produk tersebut masih terdapat *binder*. Setelah proses injeksi selesai, proses *solvent debinding* dan juga *thermal debinding* dilakukan. Untuk proses *solvent debinding* dilakukan dengan cara agitasi dengan suhu sebesar 50°C dan *thermal debinding* pada suhu 510°C selama 60 menit. Setelah proses *debinding* dilakukan, spesimen akan berubah menjadi berwarna kecoklatan dan disebut dengan *brown part*.

8 November 2017

Spesimen lalu dilakukan proses *sintering* agar menghilangkan poros akibat proses *debinding* yang mengeluarkan *binder* dari dalam spesimen dan juga untuk meningkatkan kekuatan spesimen. Proses *sintering* ini juga menggunakan suhu sebesar 1360°C , waktu tahan sebesar 1,5 jam dalam atmosfer vakum. Gambar dibawah ini merupakan gambar visual braket ortodontik hasil *injection molding* hasil injeksi dan yang telah di proses.



GAMBAR 4. Hasil injeksi spesimen braket ortodontik (green part, brown part dan sintering)

KESIMPULAN

Mesin *Metal Injection Molding* (MIM) telah berhasil dibuat dengan spesifikasi 3 bagian komponen utama yaitu bagian *system pneumatic*, bagian rangka mesin injeksi logam dan juga bagian pemanas. Mesin yang menghasilkan tekanan sebesar $5,2 \text{ kN/m}^2$ dengan kecepatan injeksi 89 m/min serta *clamping force* sebesar menggunakan gaya 3 kN/m^2 telah mampu mencetak braket yang sesuai dengan standar spesifikasi. Mesin ini memiliki spesifikasi temperatur untuk *barrel* yang dipanaskan dengan elemen pemanas yaitu sebesar $\pm 100^{\circ}\text{C}$, *nozzle* $\pm 200^{\circ}\text{C}$ dan *mold* $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Dalam pengaplikasiannya mesin injeksi ini memiliki keakuratan dimensi yang tinggi, dimana standar *error* dari masing-masing sumbu x, y dan z secara berturut-turut ialah ± 0.008 , $\pm 0,014$ dan juga $\pm 0,124$ untuk *green part*, ± 0.018 , $\pm 0,051$ dan $\pm 0,092$ untuk *brown part*, dan juga ± 0.076 , $\pm 0,069$ dan $\pm 0,074$ untuk specimen hasil sinter.

REFERENSI

- T. Prasetyadi, *Inovasi Braket Ortodontik Stainless Steel 17-4 PH dengan Metode Investment Casting* (Universitas Indonesia, Depok, 2017).
- S. Supriadi, T. W. Sitanggang, B. Irawan, B. Suharno, G. Kiswanto, and T. Prasetyadi, *Int. J. Technol* **6**, 613–621 (2015).
- G. Schieleper, *A Manufacturing Process for Precision Engineering Components* (Powder Metallurgy Association, United Kingdom, 2006).
- I. Todd and A. Sidambe, “Developments in metal injection moulding (MIM),” in *Advances in Powder Metallurgy*, edited by I. Chang and Y. Zhao (Woodhead Publishing Limited, 2013).
- Y. L. Bahtiar and F. T. Prasetyo. H, *Mesin Pengepres Plastik dengan Sistem Penggerak Pneumatik* (Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2014)
- G. Maulana, Peningkatan Laju Penghilangan Binder pada Solvent Debinding Stainless Steel 17-4 PH Proses Metal Injection Molding untuk Aplikasi Braket Ortodontik (Universitas Indonesia, Depok, 2017).
- S. Supriadi, B. Suharno, R. Hidayatullah, G. Maulana and E. Baek, *Solid State Phen.* **266**, 238-244 (2017).
- B. Suharno, D. Ferdian, H. R. Saputro, L. P. Suharno, E. Baek, and S. Supriadi, *Solid State Phen.* **266** 231–237(2017).

Pengaruh Perlakuan Air Kapur Terhadap Karakteristik Serat Limbah Pelepah Salak Sebagai Penguat Komposit

Wahyu Purwo Raharjo^{1,2 A)}, Rudy Soenoko^{3, B)}, Anindito Purnowidodo^{3, C)}, & Moch.
Agus Choiron^{3, D)}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

²Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang..

a) wahyupraharjo@ft.uns.ac.id b) rudysoen@ub.ac.id c) anindito@ub.ac.id d) agus_choiron@ub.ac.id

Abstract.

At this time, zalacca plant is only consumed for its fruits. Its midribs which are cut twice a year is reject as wastes. The zalacca midribs have potency for their fibers as composite reinforcement. Zalacca fibers consist of cellulose, hemicellulose and lignin. To improve their mechanical characteristics and compatibility with polymer matrix, the chemical treatment is done. Alkaline treatment which are often applied has disadvantages, like the poisonous liquid. One of the alternative of save methods is lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) treatment. The aim of this research is to characterize the fiber from zalacca midribs wastes before and after lime treatment. To investigate the effects of the treatment, the fiber composition testing, tensile testing, morphological examination and thermal stability of the fibers were done. From the composition testing of the fibers, there was decrease of cellulose content and increase of lignin. The tensile test indicated that the tensile strength and elastic modulus raised. The duration of the treatment did not show the improvement of mechanical properties. Morphological investigation by SEM indicated that the fibers surface become cleaner and rougher. TGA-DTA examination showed the raised thermal stability, especially for temperatur under 230°C . From this research, it was obtained that $\text{Ca}(\text{OH})_2$ treatment improved the mechanical, morphological and thermal stability of zalacca fibers.

1. PENDAHULUAN

Saat ini material dengan kekuatan spesifik tinggi sangat dibutuhkan akibat kelangkaan sumber material dan energi konvensional. Isu lingkungan yang muncul mendorong dipakainya *green composite*, yaitu material yang tersusun atas minimal 2 komponen yang salah atau keduanya bersifat renewable [1]. Komposit terdiri atas matrik dan penguat, biasanya berupa serat [2]. Terdapat banyak serat alam terutama tumbuhan seperti kenaf [3], Jute [4], sisal [5], sabut kelapa [6], pisang [7], ampas tebu [8] dan serat kayu [9]. Walau demikian serat tumbuhan belum dipakai secara luas di industri karena daya ikatnya yang rendah terhadap matriks polimer sintetis [10]. Untuk mendapat sifat mekanik komposit yang optimum, faktor penting yang harus diperhatikan adalah sifat mekanik matriks dan serat, adhesivitas matriks-serat [11], panjang dan orientasi, fraksi volume serta stabilitas termal serat [12].

Tanaman salak banyak tumbuh di dataran tinggi Pulau Jawa dan Sumatera. Salak ditanam untuk dikonsumsi buahnya. Pada umumnya salak dipanen buahnya 2 kali setahun. Untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil panen, dilakukan pemotongan 4-6 pelepah yang sudah tua sehabis panen. Selama ini potongan pelepah hanya dibuang saja sebagai limbah. Pemanfaatan serat limbah pelepah salak sebagai bahan baku tekstil maupun penguat komposit belum dilakukan.

Seperti serat lignoselulose yang lain, serat salak mempunyai 3 komponen utama yaitu selulose, hemiselulose dan lignin [11]. Selulose adalah bagian dengan struktur kristalin dan amorf, serta mempunyai kekuatan yang tinggi [13] dan tahan alkali kuat (17,5 wt%) serta oksidasi namun terhidrolisis oleh gula yang larut dalam asam atau air. Hemiselulose bersifat amorf dan sangat hidrofilik, larut dalam alkali dan mudah terhidrolisis dalam asam [11]. Lignin mempunyai struktur amorf, bersifat hidrofobik dan memberikan sifat rigid pada tumbuhan [14]. Lignin larut dalam asam asetat [15], mudah teroksidasi dan terkondensi oleh fenol [16] serta bersifat seperti polimer termoplastis dengan temperatur transisi gelas $\pm 90^{\circ}\text{C}$ dan titik cair 170°C . Penelitian Raharjo dkk. [17] menunjukkan bahwa serat pelepah salak memiliki kadar selulose, hemiselulose dan pektin berturut-turut sebesar 42.54, 34.35 dan 28.01%. Kandungan tersebut lebih tinggi dibanding pada serat gandum [18], sabut kelapa [19], rumput alfa [20] dan ampas tebu [21].

Untuk menghilangkan hemiselulose yang hidrofilik, dilakukan perlakuan kimia. Perlakuan alkali adalah metode yang paling banyak dipakai [22]. Walaupun demikian terdapat beberapa masalah antara lain yaitu penanganan yang harus hati-hati terhadap cairan yang beracun serta pembuangan sisa larutan. Air kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) adalah alternatif perlakuan kimia yang aman terhadap manusia dan lingkungan. Kelemahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adalah kelarutannya dalam air yang terbatas. Oleh karenanya untuk mendapatkan efek perlakuan yang sama dengan alkali, diperlukan perendaman yang lebih lama.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh perlakuan air kapur terhadap komposisi, sifat mekanik, morfologi dan stabilitas termal serat pelepah salak. Perlakuan dilakukan dengan merendam serat dengan durasi berbeda. Pengujian komposisi serat dilakukan untuk mendapatkan kadar selulose, hemiselulose dan lignin sebelum dan sesudah perlakuan. Uji tarik dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tarik, modulus elastisitas dan regangan patah. Pengamatan SEM dan TGA-DTA berturut-turut digunakan untuk mengobservasi morfologi permukaan dan stabilitas termal serat sebelum dan sesudah perlakuan.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Serat yang dipakai berasal dari pelepah tanaman salak (*Zalacca edulis*) dari Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. Pelepah dipotong dari pohon berumur 3 tahun dalam satu perkebunan. Pelepah kemudian direndam dalam air distilasi selama 2 minggu. Setelah terpisah dari kulit pelepah, serat dibersihkan dan dikeringkan di udara terbuka selama 2 hari dan dalam oven bertemperatur 105°C selama 2 jam. Selanjutnya serat dipotong dengan panjang ± 40 mm dan dimasukkan dalam container plastik. Bahan kimia yang dipakai adalah CaO analitis.

2.2 Metode

Perlakuan air kapur

Kelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam air adalah 0,15% pada temperatur kamar. Pertama-tama 5 gram serat direndam dalam 100 ml larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ selama variasi waktu 24, 48 dan 72 jam dan dibilas dengan air distilasi. Kemudian serat dikeringkan dalam oven berventilasi pada temperatur 80°C selama 24 jam.

Pengujian komposisi serat

Kandungan selulose dan lignin diukur berturut-turut menggunakan metode Kurcner-and-Hoffer dan Klason [23]. Hemiselulose ditentukan berdasarkan standar NFT 12-008. Serat dengan dan tanpa perlakuan air kapur dibuat menjadi serbuk dan diekstraksi menggunakan dichloromethane dan dihidrolisis dengan larutan 72% H₂SO₄. Bagian yang tidak larut, lignin, dipisahkan dan dikuantifikasi. Selulose didapatkan dengan mengekstraksi sampel memakai dichloromethane dan ditambahkan campuran etanol dan larutan 95% HNO₃. Bagian yang tidak larut, selulose, ditimbang. Hemiselulose diperoleh dengan memanaskan sampel dalam larutan HBr dan ditransformasikan menjadi furfural dan diekstraksi dengan distilasi serta diukur secara spectrophotometry.

Pengujian tarik

Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ASTM C1557-03 menggunakan *universal testing machine* JTM UTS 210 dengan *gage-length* 20 mm. Serat dipilih secara acak dan dipotong sesuai dengan spesimen uji tarik, Gbr. 1. Load cell yang dipakai berkapasitas 50 kg dan kecepatan cross-head diset pada 50 mm/menit. Sepuluh spesimen untuk tiap variasi diuji. Spesimen yang patah dekat klem mesin uji tarik tidak dipakai dalam analisis. Kekuatan tarik serat ditentukan dengan membagi beban maksimum yang diberikan dengan luas penampang rata-rata serat tersebut menggunakan Persamaan (1). Regangan diukur dengan membagi perubahan panjang serat dengan panjang awalnya.

$$\sigma_u = \frac{P_{\max}}{A} \quad (1)$$

dimana σ , P_{\max} dan A berturut-turut menyatakan kekuatan tarik, beban maksimum dan luas penampang rata-rata serat. Luas penampang serat ditentukan menggunakan Persamaan (2).

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2)$$

dimana d adalah diameter rata-rata yang diukur pada tiap serat menggunakan mikroskop optik. Modulus elastisitas ditentukan pada bagian linear pada kurva tegangan-regangan.

Scanning electron microscopy

Pengamatan morfologi permukaan serat sebelum dan sesudah perlakuan air kapur dilakukan menggunakan peralatan SEM merek JEOL JSM 5800. Sampel yang telah di-coating dengan emas diposisikan pada *sample holder* warna perak.

Themogravimetric analysis-differential thermal analysis

Analisis TGA-DTA dilakukan dengan peralatan merek Linseis Type STA PT 1600 yang dilengkapi dengan gas nitrogen. Sampel berbentuk serbuk seberat 15-20 mg diletakkan dalam wadah platina. Sampel dipanaskan dari temperatur kamar hingga 600⁰C dengan laju pemanasan 10⁰C/menit dan ditimbang secara simultan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Komposisi Serat

Kandungan selulose, hemiselulose dan lignin serat salak sebelum dan sesudah perlakuan air kapur diperlihatkan dalam Tabel 1. Kadar selulose, hemiselulose dan lignin pada serat tanpa perlakuan berturut-turut sebesar 42.54, 34.35 dan 28.01 %. Kandungan selulose pada serat salak ini lebih besar dibanding pada jerami [18], sabut kelapa [24], rumput alfa [20] dan ampas tebu [21].

TABEL4. Kandungan selulose, hemiselulose dan lignin pada serat salak

Fibers	Selulose (%)	Hemiselulose (%)	Lignin (%)
Tanpa perlakuan	42.54	34.35	28.01
Ca(OH) ₂ selama 24 jam	40.37	37.46	23.26
Ca(OH) ₂ selama 48 jam	39.84	36.83	25.71
Ca(OH) ₂ selama 72 jam	36.86	35.16	28.94

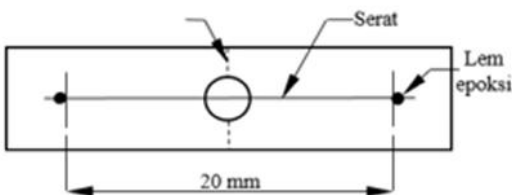
Perlakuan air kapur sedikit menurunkan kandungan selulose menjadi berturut-turut 40,37, 39.84 dan 36.86% pada perendaman selama 24, 48 dan 72 jam sementara hemiselulose dan lignin relatif konstan. Perendaman yang makin lama cenderung menurunkan kadar selulose.

8 November 2017

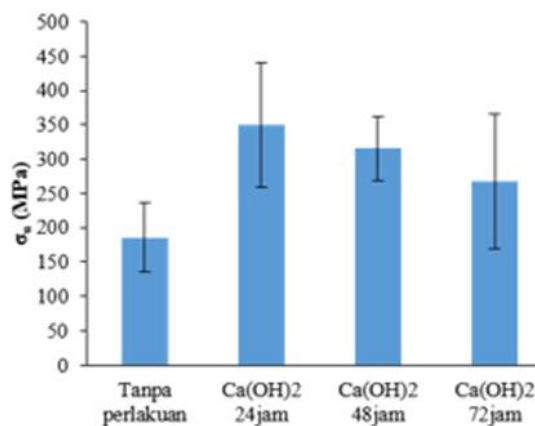
Hasil Uji Tarik

Uji tarik yang dilakukan menghasilkan kekuatan tarik, modulus elastisitas dan regangan patah yang masing-masing diperlihatkan pada Gbr. 2, 3 dan 4.

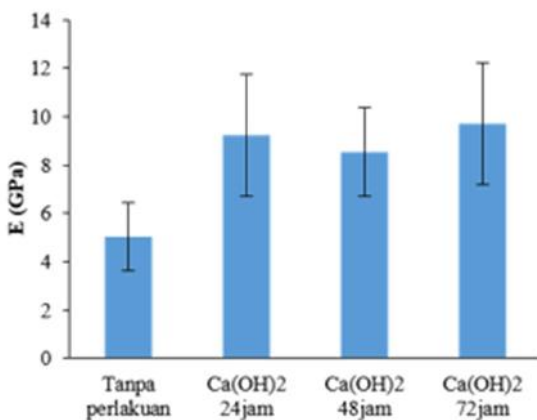
Perlakuan air kapur selama 24 jam menaikkan kekuatan tarik rata-rata serat menjadi hampir dua kalinya, Gbr. 2. Hal ini disebabkan CaO yang terbentuk setelah menguapnya air pada perlakuan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang mempunyai sifat sebagai pengikat (Schlager *et al.*, 2006). CaO mengikat serat-serat elementer, *meso fibrils* dan *micro fibrils* menjadi satu *technical fibers* sehingga lebih kuat. Pada perlakuan air kapur yang lebih lama, walaupun terjadi pengikatan serat-serat penyusun namun karena $\text{Ca}(\text{OH})_2$ bersifat menghilangkan selulose, Tabel 1, maka kekuatan serat menurun seiring dengan lamanya proses perendaman.



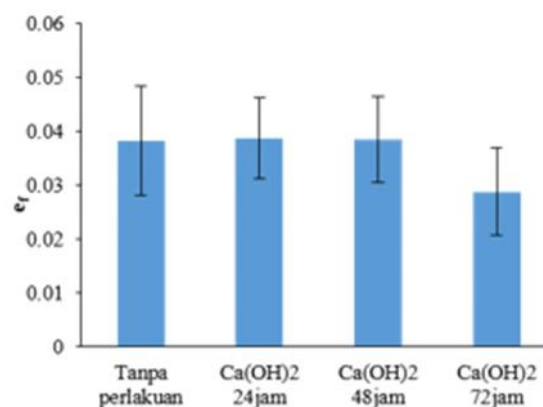
GAMBAR 2. Spesimen uji tarik serat



GAMBAR 3. Kekuatan tarik serat salak



GAMBAR 4. Modulus elastisitas serat salak



GAMBAR 5. Regangan patah serat salak

Pengaruh perlakuan air kapur terhadap modulus elastisitas serat diperlihatkan pada Gbr. 3 dimana serat menjadi lebih kaku. Hal ini terjadi disebabkan ikatan CaO terhadap serat-serat elementer.

Karena Ca(OH)_2 relatif tidak menghilangkan lignin maka perlakuan yang lebih lama tidak menurunkan kekakuan serat. Regangan patah serat, seperti ditunjukkan pada Gbr. 4, cenderung menurun pada perlakuan yang lama karena lignin yang masih tinggal menyebabkan rigiditas serat meningkat sehingga lebih getas.

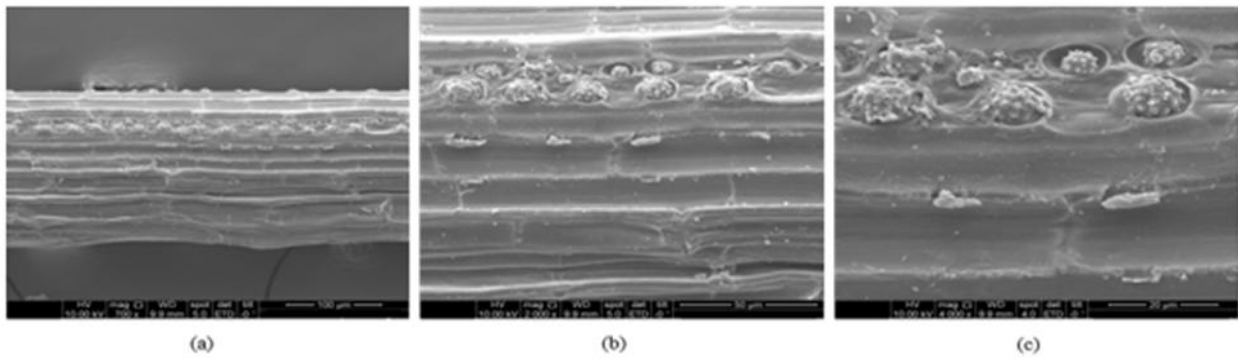
Pengamatan SEM

Analisis morfologi permukaan serat menggunakan SEM, Gbr. 5, 6, 7 dan 8, menunjukkan bahwa perlakuan air kapur menyebabkan permukaan serat menjadi lebih bersih. Hal ini dikarenakan Ca(OH)_2 yang bersifat mengikat kotoran (Schlager *et al.*, 2006). Selain itu perendaman serat dalam larutan Ca(OH)_2 membuat permukaan serat menjadi lebih kasar sehingga kontur serat terlihat dengan jelas. Walaupun demikian dibanding pada perlakuan alkali [17], perlakuan air kapur kurang efektif dalam menghilangkan komponen serat yang tidak dikehendaki yaitu hemiselulose. Dengan perlakuan alkali, terjadi penghilangan hemiselulose dan lignin yang cukup signifikan sehingga terjadi pengecilan volume pada permukaan serat sehingga kekasarannya tampak lebih jelas.

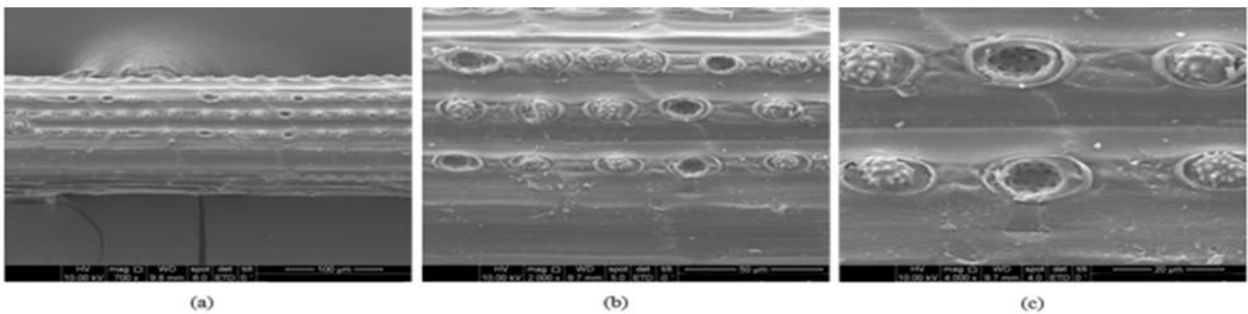
Pengujian TGA-DTA

Dari hasil analisis TGA, Gbr. 9, didapatkan 3 daerah perubahan massa serat. Hal ini bersesuaian dengan penelitian Hossain dkk. (2011) dimana degradasi serat alam biasanya terjadi dalam 3 tahap yaitu (1) menguapnya kandungan air pada serat, (2) degradasi selulose dan hemiselulose, serta (3) degradasi zat nonselulose, termasuk lignin. Selulose dan lignin berturut-turut terdekomposisi dalam kisaran temperatur 220-350⁰C dan 200-500⁰C.

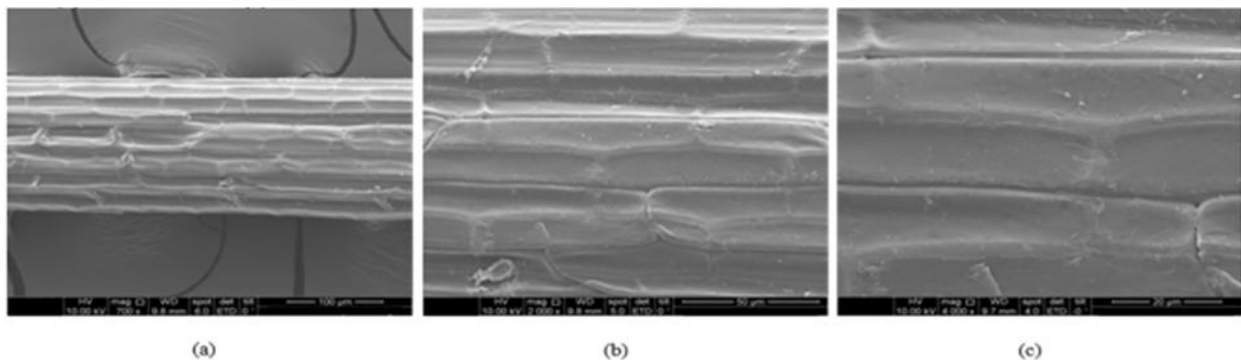
8 November 2017



GAMBAR 6. Pengamatan SEM pada serat salak tanpa perlakuan pada perbesaran: (a) 700 kali (b) 2000 kali dan (c) 4000 kali

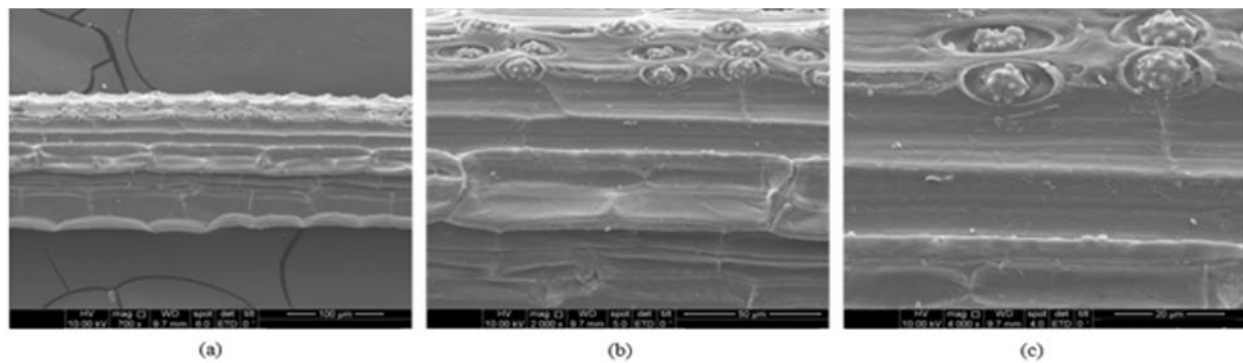


GAMBAR 7. Pengamatan SEM pada serat salak dengan perlakuan Ca(OH)_2 selama 24 jam pada perbesaran: (a) 700 kali (b) 2000 kali dan (c) 4000 kali

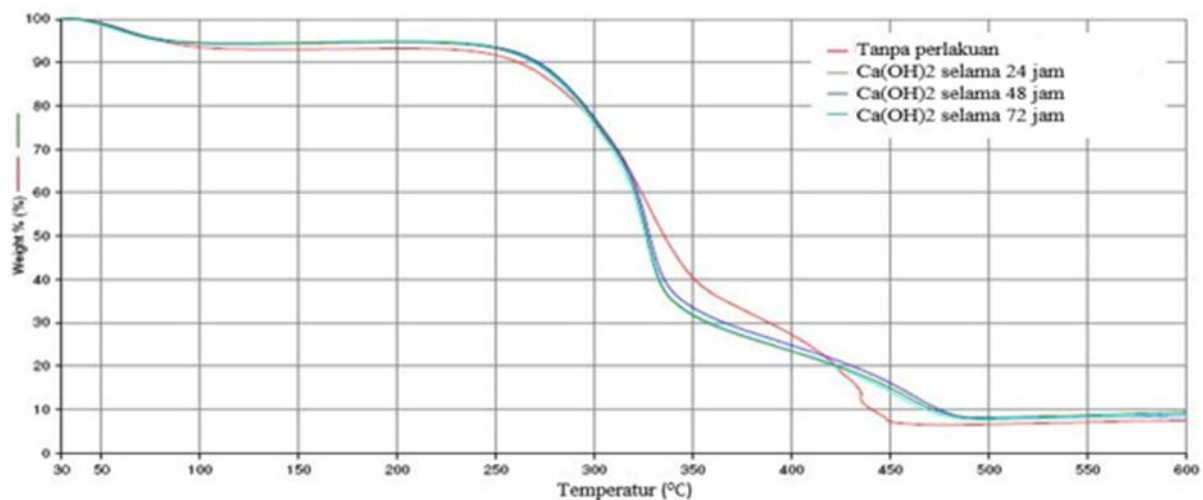


GAMBAR 8. Pengamatan SEM pada serat salak dengan perlakuan Ca(OH)_2 selama 48 jam pada perbesaran: (a) 700 kali (b) 2000 kali dan (c) 4000 kali

8 November 2017



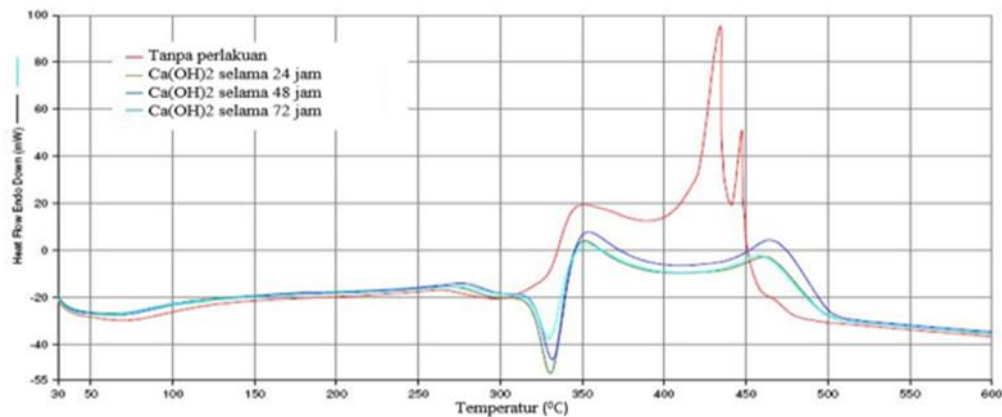
GAMBAR 9. Pengamatan SEM pada serat salak dengan perlakuan Ca(OH)_2 selama 72 jam pada perbesaran: (a) 700 kali (b) 2000 kali dan (c) 4000 kali



GAMBAR 10. Kurva TGA serat salak

Gbr. 9 memperlihatkan bahwa penurunan massa serat yang mendapat perlakuan Ca(OH)_2 lebih kecil dibanding tanpa perlakuan pada kisaran antara temperatur kamar hingga 200°C (tahap 1). Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya kadar hemiselulose yang bersifat hidrofilik. Hal ini dibuktikan dengan kurva DTA negatif yang mengecil, Gbr. 10, yang menunjukkan berkurangnya reaksi endotermik akibat penguapan air yang terikat di serat. Selain kandungan air terikat, semua serat yang diuji relatif stabil hingga temperatur 200°C tanpa degradasi atau dekomposisi.

8 November 2017



GAMBAR 11. Kurva DTA serat salak

Kurva DTA yang bergeser ke kanan memperlihatkan kenaikan stabilitas termal yang signifikan disebabkan perlakuan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada serat hingga temperatur 350°C . Pada tahap 2 dengan kisaran temperatur $200\text{-}350^\circ\text{C}$, degradasi hemiselulose dan lignin tidak dapat ditentukan dengan presisi karena temperatur dekomposisinya yang *overlap* serta proses dekomposisi lignin yang bersifat gradual. Diperlihatkan juga bahwa semua serat mulai terdegradasi secara cepat dimulai pada temperatur 230°C hingga sekitar 350°C . Di atas temperatur 350°C , serat dengan perlakuan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ cenderung lebih cepat terdegradasi dibanding yang tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan kandungan lignin yang lebih tinggi pada serat dengan perlakuan, Tabel 1. Pada temperatur di atas 500°C , baik kurva TGA maupun DTA sama untuk serat dengan dan tanpa perlakuan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hal ini menunjukkan bahwa komponen serat baik selulose, hemiselulose dan lignin telah terdekomposisi dan meninggalkan sisa berupa abu (*ash*).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlakuan air kapur sedikit menurunkan kadar selulose serat pelepah salak. Makin lama perlakuan menyebabkan kadar selulose turun, sebaliknya kadar lignin sedikit meningkat.
2. Kekuatan tarik dan modulus elastisitas serat salak naik setelah proses perlakuan dengan air kapur. Walaupun demikian makin lama perlakuan cenderung menurunkan keduanya. Regangan patah relatif tidak berubah namun menurun untuk perlakuan yang lama.

3. Morfologi permukaan serat salak setelah perlakuan air kapur menunjukkan terjadi pengkasaran. Selain itu permukaan serat menjadi lebih bersih dari pengotor.
4. Terjadi peningkatan stabilitas termal serat salak setelah perlakuan air kapur terutama pada temperatur kurang dari 230⁰C.

ACKNOWLEDGMENTS

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Ristek dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penulis melaksanakan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] G. Koronis, A. Silva, and M. Fontul, "Green composites: A review of adequate materials for automotive applications," *Compos. Part B Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 120–127, 2013.
- [2] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [3] A. M. M. Edeerozey, H. M. Akil, A. B. Azhar, and M. I. Z. Ariffin, "Chemical modification of kenaf fibers," *Mater. Lett.*, vol. 61, no. 10, pp. 2023–2025, 2007.
- [4] K. Sever, "The Improvement of Mechanical Properties of Jute Fiber/LDPE Composites by Fiber Surface Treatment," *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 29, no. 13, pp. 1921–1929, 2010.
- [5] A. S. Luyt and M. E. Malunka, "Composites of low-density polyethylene and short sisal fibres: The effect of wax addition and peroxide treatment on thermal properties," *Thermochim. Acta*, vol. 426, no. 1–2, pp. 101–107, 2005.
- [6] S. S. Mir, N. Nafsin, M. Hasan, N. Hasan, and A. Hassan, "Improvement of physico-mechanical properties of coir-polypropylene biocomposites by fiber chemical treatment," *Mater. Des.*, vol. 52, pp. 251–257, 2013.
- [7] J. D. Weed and W. Jordan, "Interfacial Shear Strength of Banana Fiber in Low Density Polyethylene," in *International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2013)*, 2013, pp. 1–6.
- [8] M. K. Hossain *et al.*, "Comparative mechanical and thermal study of chemically treated

- and untreated single sugarcane fiber bundle,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 58, pp. 78–90, 2014.
- [9] M. Enamul Hoque, M. A. M. Aminudin, M. Jawaid, M. S. Islam, N. Saba, and M. T. Paridah, “Physical, mechanical, and biodegradable properties of meranti wood polymer composites,” *Mater. Des.*, vol. 64, pp. 743–749, 2014.
- [10] A. Shalwan and B. F. Yousif, “In State of Art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres,” *Mater. Des.*, vol. 48, pp. 14–24, 2013.
- [11] M. M. Kabir, H. Wang, K. T. Lau, and F. Cardona, “Tensile properties of chemically treated hemp fibres as reinforcement for composites,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 53, pp. 362–368, 2013.
- [12] S. I. Hossain, M. Hasan, N. Hasan, and A. Hassan, “Effect of Chemical Treatment on Physical , Mechanical and Thermal Properties of Ladies Finger Natural Fiber,” *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2013, no. Figure 1, pp. 1–6, 2013.
- [13] R. F. Gibson, *Principles of composite material mechanics*, 3rd ed. New York: CRC Press Taylor and Francis Group, 2012.
- [14] M. J. John and S. Thomas, “Biofibres and biocomposites,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 71, no. 3, pp. 343–364, 2008.
- [15] M. K. Hossain, M. W. Dewan, M. Hosur, and S. Jeelani, “Effect of surface treatment and nanoclay on thermal and mechanical performances of jute fabric/biopol ‘green’ composites,” *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 30, no. 22, pp. 1841–1856, 2011.
- [16] A. Bismarck, S. Mishra, and T. Lampke, “Plant Fibers as Reinforcement for Green Composites,” in *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*, 1st ed., A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, Eds. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005, pp. 51–122.
- [17] W. P. Raharjo, R. Soenoko, A. Purnowidodo, M. A. Choiron, and Triyono, “Mechanical properties of untreated and alkaline treated fibers from zalacca midrib wastes,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1717, 2016.
- [18] S. Panthapulakkal, A. Zereshkian, and M. Sain, “Preparation and characterization of wheat straw fibers for reinforcing application in injection molded thermoplastic composites,” *Bioresour. Technol.*, vol. 97, no. 2, pp. 265–272, 2006.
- [19] A. K. Mohanty, M. Misra, and L. T. Drzal, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites*. 2005.

- [20] R. M. Rowell, J. S. Han, and J. S. Rowell, "Characterization and Factors Effecting Fiber Properties," *Nat. Polym. an Agrofibers Compos.*, pp. 115–134, 2000.
- [21] M. Sasaki, "Fractionation of sugarcane bagasse by hydrothermal treatment," vol. 86, pp. 301–304, 2003.
- [22] P. Saha, S. Manna, S. R. Chowdhury, R. Sen, D. Roy, and B. Adhikari, "Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 9, pp. 3182–3187, 2010.
- [23] V. S. Sreenivasan, D. Ravindran, V. Manikandan, and R. Narayanasamy, "Mechanical properties of randomly oriented short *Sansevieria cylindrica* fibre/polyester composites," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 4, pp. 2444–2455, 2011.
- [24] L. Q. N. Tran, T. N. Minh, C. A. Fuentes, T. T. Chi, A. W. Van Vuure, and I. Verpoest, "Investigation of microstructure and tensile properties of porous natural coir fibre for use in composite materials," *Ind. Crops Prod.*, vol. 65, pp. 437–445, 2015.
- [25] N. Schlager, J. Weisblatt, and D. E. Newton, *Chemical Compounds*, 1st ed. Detroit: Thomson Gale, 2006.

Studi Awal : Peningkatan Kadar Titanium Oksida Pada Limbah Terak Timah**Bangka 2**

Sulaksana Permana^{1, A)}, Johny Wahyuadi Soedarsono^{1, B)}, Dan Ahmad Maksum^{1,2, C)}, & Kurnia Setiawan Widana^{3, D)}

¹Centre of Mineral Processing and Corrosion Research, Departmen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia.

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta , Depok 16425, Indonesia.

³Center for Nuclear Minerals Technology, National Nuclear Energy Agency Indonesia, Pasar Jum'at, Jakarta 12440, Indonesia

^{a)}sulaksana@yahoo.co ^{b)}jwsono@metal.ui.ac.id ^{c)}ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id

^{d)}kurnias@batan.go.id

Abstract.

Pemanfaatan titanium oksida pada industri cat sebagai pigmen dan industri dirgantara sebagai material yang memiliki ketahanan korosi pada lingkungan klorida serta sifat khusus untuk ketahanan tinggi. Telah dilakukan studi perolehan titanium oksida pada pasir besi dari Tapunggaya-Sulawesi Tenggara-Indonesia. Studi ini berusaha meningkatkan kadar titanium oksida dari terak timah Bangka (kami menyebutnya TTB) dengan kadar awal 11.92 %. Studi awal TTB dilakukan pemanggangan 900°C, pencelupan air dan pengayakan (kami menyebutnya terak timah Bangka-panggang, celup air dan ayak /TTB-PCA). Pelarutan dilakukan pada TTB-PCA ke dalam asam florida dengan variasi konsentrasi 3, 7, 14 dan 27 M selama 2 jam pada temperatur kamar, pelarutan lainnya dilakukan pada TTB-PCA kedalam HCl dengan variasi konsentrasi 6, 8, 10, 12M selama 2 jam dan dilanjutkan pelarutan dengan NaOH dengan variasi konsentrasi 6, 8, 10, 12M selama 10 jam pada temperatur kamar. Karakterisasi komposisi kimia pada studi ini menggunakan X-Ray Flourentcent (XRF). Hasil optimal didapat pada pelarutan pertama dengan HCl 6 M selama 2 jam dan dilanjutkan pelarutan kedua dengan NaOH 10 M selama 10 jam dengan kadar titanium oksida 18.64 %. Untuk membantu pembahasan termodinamika pada studi ini digunakan software HSC Chemistry 6.

PENDAHULUAN

Sumber mineral utama dari titanium dioksida berasal dari ilmenit dan rutil. Sedangkan aplikasi titanium dioksida terluas adalah sebagai pigmen di industri cat, proses pembuatan pigmen putih titanium dioksida didasarkan pada proses sulfat dan proses klorida. Aplikasi lainnya dari titanium dioksida adalah pada bidang kedirgantaraan, hal ini dikarenakan ketahanan korosi yang sangat baik di lingkungan klorida dan juga karena sifat khusus untuk ketahanan tinggi [1]. Perhitungan pada tahun 2012, konsumsi global titanium sponge adalah 150 kTpa dan pada tahun 2015 meningkat menjadi > 200 kTpa [2].

Pasir besi dari Tapungaya-Sulawesi Tenggara memiliki kandungan TiO_2 sebesar 19.58%. Ekstraksi TiO_2 dilakukan dengan cara: direaksikan dengan asam sulfat pada suhu tinggi (> 110°C) selama ± 30 menit, dipanaskan pada suhu 90°C, endapannya disentrifugasi pada 10.000 rpm selama 10 menit, ekstraknya dikalsinasi selama ± 7 jam pada suhu 500°C dan 1000°C, terakhir dimurnikan dengan HCl dan HNO_3 . Hasil akhirnya adalah ekstrak TiO_2 yang mengandung anatase 8,97% (70,3°; 1,337Å) dan rutil 19,78% (54,2°; 1,699 Å)[3].

Ekstraksi titanium (Ti (IV)) dari media klorida dengan asam bis-(2-ethyhexyl) phosphoric acid (D2EHPA) pada minyak tanah telah dipelajari sebagai fungsi waktu kontak, konsentrasi ekstraktan dalam fase organik dan suhu. Ditemukan bahwa tingkat ekstraksi Ti (IV) dari HCl oleh D2EHPA sebagai bahan organik diharapkan menjadi fungsi konsentrasi D2EHPA dalam fase organik dan konsentrasi asam klorida dan titanium dalam fase air [4].

Hasil penelitian titanium dioksida dari terak kaya titania (TiO_2 73wt%) dengan metode NaOH cair menunjukkan bahwa suhu berpengaruh signifikan terhadap konversi titanium dan juga struktur produk. Sekitar 92% titanium di terak titania kaya dapat dikonversi setelah bereaksi dengan NaOH pada suhu 500°C selama 1 jam. Asam metatitan dibentuk melalui langkah-langkah perlakuan pencucian, pelarutan asam, dan hidrolisis. Partikel titanium dioksida bulat yang tersebar dengan baik dengan ukuran rata-rata 0,1-0,4 μm dapat diperoleh dengan kalsinasi asam metatitan. Selain itu, kandungan titanium dioksida dalam produk ini sampai 98.6wt%, yang dapat digunakan sebagai pigmen setelah perawatan pelapis dan penghancuran lebih lanjut [5].

Pelindian ilmenit Qara-aghaj dengan H_2SO_4 dan HCl dilakukan untuk meningkatkan kadar slag titanium. Terak titanium yang mengandung 72,7% TiO_2 dan 7,8% Fe_2O_3 dilepaskan pada variasi rasio padat/cair (S/L), ukuran partikel, waktu pelindian dan konsentrasi asam.

Jumlah optimum rasio S/L, ukuran partikel, konsentrasi asam dan waktu pelindian menggunakan kedua asam ditentukan sebagai 1: 4, -100 μm , 8% dan 2 jam. Dengan H_2SO_4 kondisi optimum diperoleh konsentrat titanium dioksida 86,8% TiO_2 dan 1,87% Fe_2O_3 , sementara menggunakan HCl menghasilkan konsentrat yang mengandung 91% TiO_2 dan 0,61% Fe_2O_3 . Konsentrat titanium dioksida disiapkan dengan HCl, memiliki tekstur acicular dan dengan cara memisahkan partikel terpisah; memiliki lebih sedikit kotoran daripada yang dihasilkan oleh H_2SO_4 . [6].

Pemanggang terak titanium tinggi dengan H_2SO_4 pekat diusulkan untuk membuat titanium dioksida, dan kinetika pemanggangan titania dipelajari berdasarkan proses pemanggangan. Efek dari suhu pemanggangan, ukuran partikel, dan rasio massa asam dan bijih pada laju reaksi pemanggangan diselidiki. Hasilnya menunjukkan bahwa reaksi pemanggangan dipasang pada model inti yang menyusut. Hasil percobaan kinetik dan analisis SEM dan EDAX membuktikan bahwa laju reaksi pemanggang terak titanium tinggi dengan H_2SO_4 pekat dikendalikan oleh difusi internal pada lapisan produk padat. Menurut ekspresi Arrhenius, energi aktivasi yang nyata dari reaksi pemanggangan adalah 18,94 kJ / mol [7].

Karbo klorinasi rutil dilakukan pada suhu tinggi (800-1.500°C) dalam proses klorida komersial dari industri pigmen. Dalam tipe proses klorida, rutil digunakan sebagai reaktan primer, Cl_2 sebagai zat klorinasi, dan karbon sebagai reduktan. Simulasi kesetimbangan termodinamika dari sistim reaksi menunjukkan bahwa suatu rutil yang lengkap layak dilakukan pada suhu serendah 200°C. Pada proses klorida suhu rendah, suhu reaksi dikurangi menjadi 350-450°C. Laju konversi pada 385°C adalah 30% lebih tinggi dari pada 1.000°C. Reaktor *fluidized-bed* digunakan untuk proses klorinasi. Disimpulkan bahwa pembentukan kompleks $\text{TiO}_2\text{-C-Cl}$ yang teraktivasi pada antarmuka TiO_2/C menyumbang reaksi mekanisme untuk gas-padatan-padatan [8].

Prosedur mengekstrak komponen titanium dan besi metalik dari terak tanur blast Ti-bearing dilakukan melalui tiga tahap, yaitu: (1) modifikasi suhu tinggi (2) pemisahan gravitasi dan (3) metode hidrometalurgi. Perilaku besi metalik selama proses modifikasi suhu tinggi dipelajari. Kelayakan pemisahan rutil dari tahap matriks diselidiki; berdasarkan hasil analisis kelayakan, percobaan pemisahan gravitasi dilakukan untuk memperbaiki kandungan TiO_2 dalam slag. Perilaku pelepasan dan kinetika komponen non-titanium dalam konsentrat pemisahan gravitasi diselidiki.

Energi aktivasi proses pelindian adalah 62,868 kJ / mol, dan pelindian sirkulasi dan persiapan percobaan rutil sintetis diimplementasikan. Akhirnya, sebuah rute teknologi lingkungan diusulkan untuk pemanfaatan secara menyeluruh terak Ti-bearing tanur blast [9]

Sebuah novelti untuk ekstraksi besi, titanium, vanadium, dan kromium dari konsentrat titanomagnetit tembaga-kromium tinggi diusulkan. Proses ini melibatkan beberapa tahap: (1) pengurangan parsial konsentrat (2) pemisahan magnetik (3) pelindian asam klorida dari tailing berlapis titanium dan (4) desilikasi basa residu dengan pelindian HCl. Pengurangan parsial memastikan bahwa vanadium dan kromium secara dominan terkonsentrasi pada tailing dengan bantalan titanium. Selanjutnya, pemisahan magnetik digunakan untuk memulihkan konsentrat besi dengan kandungan besi total 94,57%. Selama pengolahan asam, pelindian vanadium 90,8% dan pelepasan kromium 93,4% diperoleh, dengan kerugian titanium kurang dari 0,3%. 96,3% silikon disingkirkan dengan desilikasi basa, dan slag titanium kaya dengan kemurnian 93,39% dihasilkan. Total pemulihan besi, titanium, vanadium, dan kromium di bawah kondisi percobaan masing-masing adalah 88,3%, 93,7%, 81,7%, dan 84,4% [10].

Proses pemanggangan dan pencelupan air telah dilakukan pada penelitian terak timah [11] dan kulit padi [12] sedangkan teknologi pelindian telah digunakan pada perolehan logam tanah jarang [13–15]. Penelitian sebelumnya telah memperlihatkan *upgrading* dan ekstraksi oksida berharga dari terak timah, oksida berharga tersebut adalah tantalum dan niobium oksida [11,16], logam tanah jarang [17,18] dan unsur radioaktif [19,20].

Tujuan dari studi ini melihat: efek pemanggangan dan pencelupan air pada TTB terhadap kadar TNP dan distribusi ukuran partikel; peningkatan kadar TNP karena: pelarutan TTB-PCA dengan (1) HF 3, 7, 14 and 27 M selama 2 jam (2) HCl 6, 8, 10 and 12 M selama 2 jam dilanjutkan pelarutan NaOH 6, 8, 10 and 12 M selama 20 jam.

2 MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Terak timah yang digunakan pada penelitian ini berasal dari salah satu smelter di pulau Bangka dan Belitung. Terak timah awal (kami menyebutnya terak timah Bangka /TTB) dikarakterisasi dengan X-Ray Fluorecent (XRD) merk Spectro Xepos Ametek. Hasil karakterisasi XRF disajikan pada Tabel 1.

Studi ini menggunakan Asam Florida (HF) larutan teknis dan HCl serta NaOH (pa, Merck), software HSC Chemistry 6 digunakan untuk membantu diskusi dan pembahasan penelitian ini.

2.2 Metode

Sample pertama TTB diayak dengan ukuran butir +60; -60+100; -100+150; -150 +200 and -200 mesh, kemudian masing-masing ukuran butir dikarakterisasi dengan XRF.

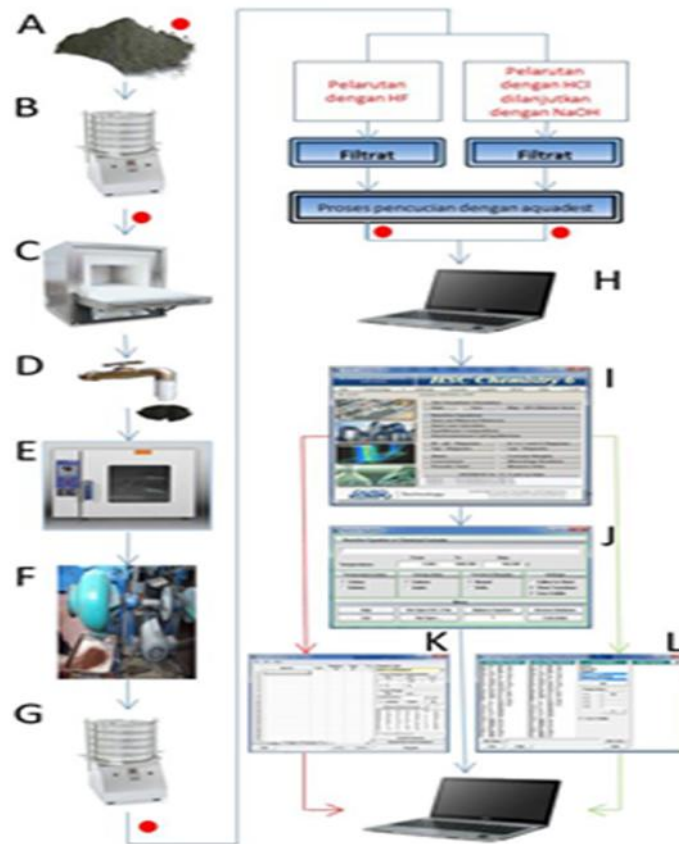
Sample kedua TTB dipanggang dengan temperatur 900°C sekama 2 jam, lalu dicelupkan ke dalam air dan dikeringkan oven untuk menghilangkan kadar air (kami menyebutnya terak timah Bangka-panggang, celup air dan ayak /TTB-PCA). Kemudian sample diayak dengan ukuran butir +60; -60 +100; -100+150; -150 +200 and -200 mesh masing-masing ukuran butir dikarakterisasi dengan XRF.

2.2.1. Pelarutan Dengan Asam

Florida

Pelarutan dengan asam florida (HF) dilakukan dengan menggunakan 4 buah kontainer plastik, dimana masing-masing kontainer dimasukkan 20 gram TTB-PCA dan 100 ml larutan HF dengan konsentrasi 3, 7, 14 and 27 M. Setelah 2 jam masing-masing sampel dibersihkan dengan aquades, dikeringkan dengan oven dan dikarakterisasi dengan XRF.

8 November 2017



GAMBAR 1. Skema Penelitian

A. Terak timah Bangka B. Pengayakan C. Pemanggaan D. Pencelupan dengan air E. Pengeringan dengan oven F. Penggerusan G. Pengayakan H. Input data hasil X-Ray Fluorecent (XRF) I. Pengolahan data dengan HSC Chemistry 6 J. Pengolahan data dengan modul REACTION EQUATION K. Pengolahan data dengan modul ELLINGHAM DIAGRAM L. Pengolahan data dengan modul Eh-pH DIAGRAM. () Karakterisasi dengan XRF

2.2.2 Pelarutan Dengan HCl Dilanjutkan Dengan NaOH

Pelarutan lainnya pada TTB-PCA menggunakan 16 beaker gelas, masing-masing beaker gelas dimasukkan 20 gram TTB-PCA, pada setiap 4 beaker gelas dimasukkan 100 ml asam klorida dengan masing-masing konsentrasi 6, 8, 10 and 12 M dengan waktu pelarutan 2 jam. Setelah pelarutan dengan HCl selesai, sampel dicuci dengan aquabidest dan dikeringkan dengan oven.

8 November 2017

Pelarutan dilanjutkan dengan NaOH untuk setiap 4 beaker gelas dari konsentrasi HCl yang berbeda dilarutkan ke dalam natrium hidroksida dengan konsentrasi 6, 8, 10, 12M masing-masing dengan waktu 20 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memudahkan pembahasan pada studi ini, dilakukan penggolongan pada oksidanya yaitu : oksida lain major (OLM) seperti SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan ZrO_2 serta oksida-oksida dengan kadar rendah yang dijadikan satu menjadi unsur dan oksida ikutan lain minor (UOM). Oksida dengan kadar tinggi dengan kadar diatas 10 persen yaitu SiO_2 , CaO , Al_2O_3 .

Tabel 1. Karakterisasi Komposisi Kimia Terak Tiimah 2 Dengan Menggunakan X-Ray
Flourentcent

TiO_2 (%)	SiO_2 (%)	CaO (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	ZrO_2 (%)	UOM* (%)
11,92	34,26	15,44	11,7	8,84	4,78	13,03

3.1 Hasil Pemangangan 900°C Dan Pencelupan Ke Dalam Air

Tabel 2. Hasil Karakterisasi X-Ray Flourentcent Komposisi Kimia TTB-PCA Pada Berbagai
Ukuran Butir

Ukuran Butir (mesh)	Massa (gram)	Fraksi (%)	TiO_2 (%)	SiO_2 (%)	CaO (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	ZrO_2 (%)	UOM* (%)
+60	441.2	45.8	12.03	33.51	16.4	11.25	9.06	5.35	12.39
-60+100	221	22.9	11.53	34.1	15.48	10.55	9.28	5.64	13.42
-100+150	202.5	21.0	11.96	30.12	15.88	9.67	10.53	6.36	15.48
-150+200	71.2	7.4	11.51	32.19	14.85	10.27	9.84	4.41	16.93
-200	15.9	1.7	10.74	28	13.46	9.56	11.63	4.75	21.86
Berat Hilang	11.8	1.2	-	-	-	-	-	-	-
Total	963.6	100	-	-	-	-	-	-	-

* UOM = Unsur dan Oksida Lain Minor

Perlakuan pemangangan TTB pada 900°C dan pencelupan kedalam air tidak memperlihatkan peningkatan kadar TiO_2 secara dominan, hal ini dapat diperhatikan pada hasil karakterisasi X-Ray Flourence di Gambar 2(a). Hasil pemangangan diperlihatkan pada Tabel 2 dimana terjadi kehilangan berat sekitar 12 %, kadar TiO_2 dominan pada ukuran butir +60; -60+100 dan -100+150 mesh dengan fraksi total 89,7 %. Oksida Lain Major (OLM) juga terlihat pada ukuran butir +60; -60+100 dan -100+150 mesh. Unsur dan oksida minor (UOM) memiliki kadar tinggi pada ukuran butir -100+150, -150+200, -200 mesh.

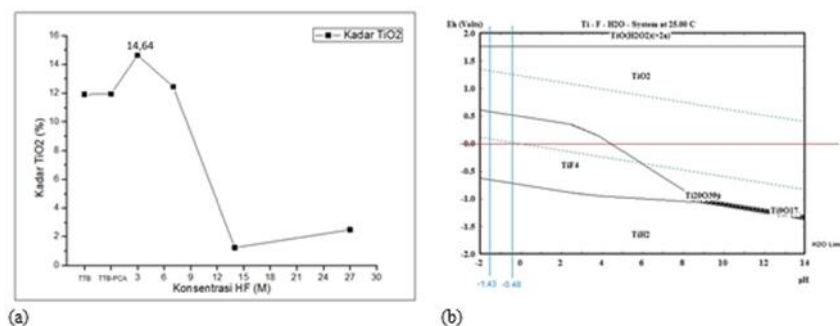
TTB didominasi oleh kandungan oksida silikat dan oksida kalsium, sehingga material ini termasuk kedalam kategori senyawa keramik. Struktur keramik memiliki sifat getas sehingga dapat mengalami perpatahan sebelum deformasi terjadi hal ini karena adanya susunan dan rambatan dari retakan pada sepanjang bidang material [21,22]. Proses pemanggangan pada terak timah akan menyebabkan reaksi yang berawal dari permukaan ke inti partikel, reaksi tersebut akan dikendalikan oleh difusi oksigen yang masuk dan sulfur dioksida yang keluar melalui lapisan oksida [23]. Proses pemanggangan akan meningkatkan porositas, terjadinya ekspansi termal sehingga membentuk mikrocrack [24], dan memperluas permukaan padatan, hal ini akan mempermudah optimalisasi proses pelarutan atau pelindian [18][22] [25].

3.2 Hasil Pelarutan

3.2.2 Pelarutan Kedalam Asam Florida

Pelarutan TTB ke dalam asam florida (HF) pada beberapa konsentrasi menghasilkan kondisi optimal kadar TiO_2 14.64 % terjadi pada konsentrasi HF 3 M (perhatikan Gambar 2 a). Peningkatan konsentrasi HF pada pelarutan ini menyebabkan kadar TiO_2 menurun terutama pada HF dengan konsentrasi 7 M dan konsentrasi 14 M, fenomena ini belum dapat dijelaskan pada studi ini.

Jika melihat diagram Eh-pH pada Gambar 2.b, senyawa TiF_4 tidak memperlihatkan perubahan dari pH -1,43 (HF 27M) sampai dengan pH -0,48 (HF 3M) pada tegangan 0 volt. Jika diperhatikan lebih lanjut, pemakaian kadar asam lebih rendah tidak memperlihatkan perubahan senyawa TiF_4 , pelarutan ini masih dapat dilakukan pada pH 4~4,5 dengan tegangan 0 volt.



GAMBAR 2. (a) Hasil Pelarutan TTB-PCA Pada Larutan HF Dengan Konsentrasi 3 M (pH= -0,48), 7M (pH= -0,85), 14 M (pH= -1,15) and 27 M (pH= -1,43) (b) Diagram Eh – pH pelarutan TiO_2 Ke Dalam Asam Florida

Reaksi TiO_2 dengan HF memperlihatkan keadaan reaksi spontan (irreversible), hal ini terlihat pada nilai ΔG yang negatif pada Tabel 3. Senyawa yang terjadi pada pelarutan ini adalah TiF_4 dalam bentuk padatan sehingga menyebabkan kadar titanium meningkat pada residu. Oksida lain yang mengalami penurunan kadar disebabkan produk yang dihasilkan berupa gas seperti silika dan larutan seperti besi. Sehingga penjelasan thermodinamika tentang kenaikan kadar TiO_2 disebabkan pelarutan besi dan penguapan silika. Fenomena kadar UMO dan pengaruhnya pada proses ini belum menjadi perhatian dalam studi ini.

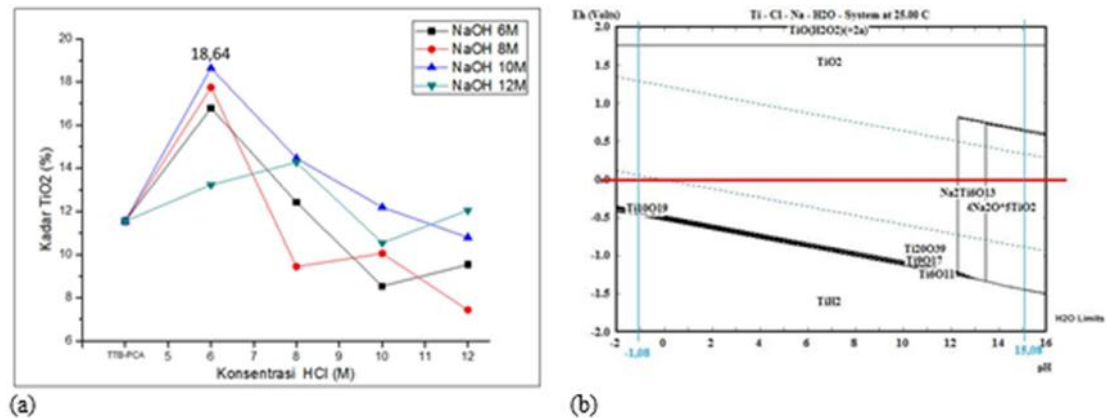
Tabel 3. Persamaan Reaksi Oksida Lain Major dengan Asam Florida [26]

No.	Persamaan Reaksi	ΔG (kcal)
1	$\text{TiO}_2 + 4\text{HF}_{(l)} = \text{TiF}_{4(s)} + 2\text{H}_2\text{O}$	-12.866
2	$\text{SiO}_2 + 4\text{HF}_{(l)} = \text{SiF}_{4(g)} + 2\text{H}_2\text{O}$	-24.194
3	$\text{CaO} + 2\text{HF}_{(l)} = \text{CaF}_{2(s)} + \text{H}_2\text{O}$	-63.167
4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HF}_{(l)} = 2\text{AlF}_{3(s)} + 3\text{H}_2\text{O}$	-85.100
5	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HF}_{(l)} = 2\text{FeF}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}$	-44.466
6	$\text{ZrO}_2 + 4\text{HF}_{(l)} = \text{ZrF}_{4(s)} + 2\text{H}_2\text{O}$	-36.205

Pelarutan Kedalam Asam Klorida Yang Dilanjutkan Kedalam Nodium Hidroksida

Pelarutan TTB ke dalam larutan HCl selama 2 jam dan dilanjutkan ke dalam larutan NaOH selama 2 jam memperlihatkan hasil kadar TiO_2 seperti terlihat pada Tabel 3a. Kadar TiO_2 optimal adalah 18,64 % dimana kondisi ini di dapatkan pada pelarutan pertama ke dalam HCl 6 M dan dilanjutkan pelarutan kedua ke dalam NaOH 10 M. Jika dilihat dari Gambar 2 a, peningkatan konsentrasi HCl tidak meningkatkan kadar TiO_2 , pada Gambar 2 b terlihat bahwa oksida TiO_2 pada pH -1,08 sampai sekitar pH 12 tidak mengalami perubahan senyawa.

8 November 2017



GAMBAR 3. (a) Garafik kadar TiO₂ hasil pelarutan TTB-PCA ke dalam larutan HCl dengan konsentrasi 6 M, 8M, 10 M and 12 M lalu dilanjutkan ke dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 6 M, 8M, 10 M and 12 M (b) Diagram Eh – pH pelarutan TiO₂ Ke Dalam HCl Dan NaOH

Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan ΔG persamaan reaksi TiO₂ dan OLM dengan asam klorida, seluruh persamaan reaksi menghasilkan nilai positif kecuali oksida Ca(OH)₂ artinya HCl tidak mudah melarutkan TiO₂ dan OLM.

Tabel 4. Persamaan Reaksi TiO₂ dan Oksida Lain Major dengan Asam klorida [26]

No.	Persamaan Reaksi	ΔG (kcal)
1	$\text{TiO}_2 + 4\text{HCl}_{(l)} = \text{TiCl}_{4(l)} + 2\text{H}_2\text{O}$	44.631
2	$\text{SiO}_2 + 4\text{HCl}_{(l)} = \text{SiCl}_{4(l)} + 2\text{H}_2\text{O}$	63.504
3	$\text{CaO} + 2\text{HCl}_{(l)} = \text{CaCl}_{2(l)} + \text{H}_2\text{O}$	-30.644
4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}_{(l)} = 2\text{AlCl}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}$	89.405
5	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}_{(l)} = 2\text{FeCl}_{3(l)} + 3\text{H}_2\text{O}$	30.723
6	$\text{ZrO}_2 + 2\text{HCl}_{(l)} = \text{ZrOCl}_{2(l)} + \text{H}_2\text{O}$	7.866

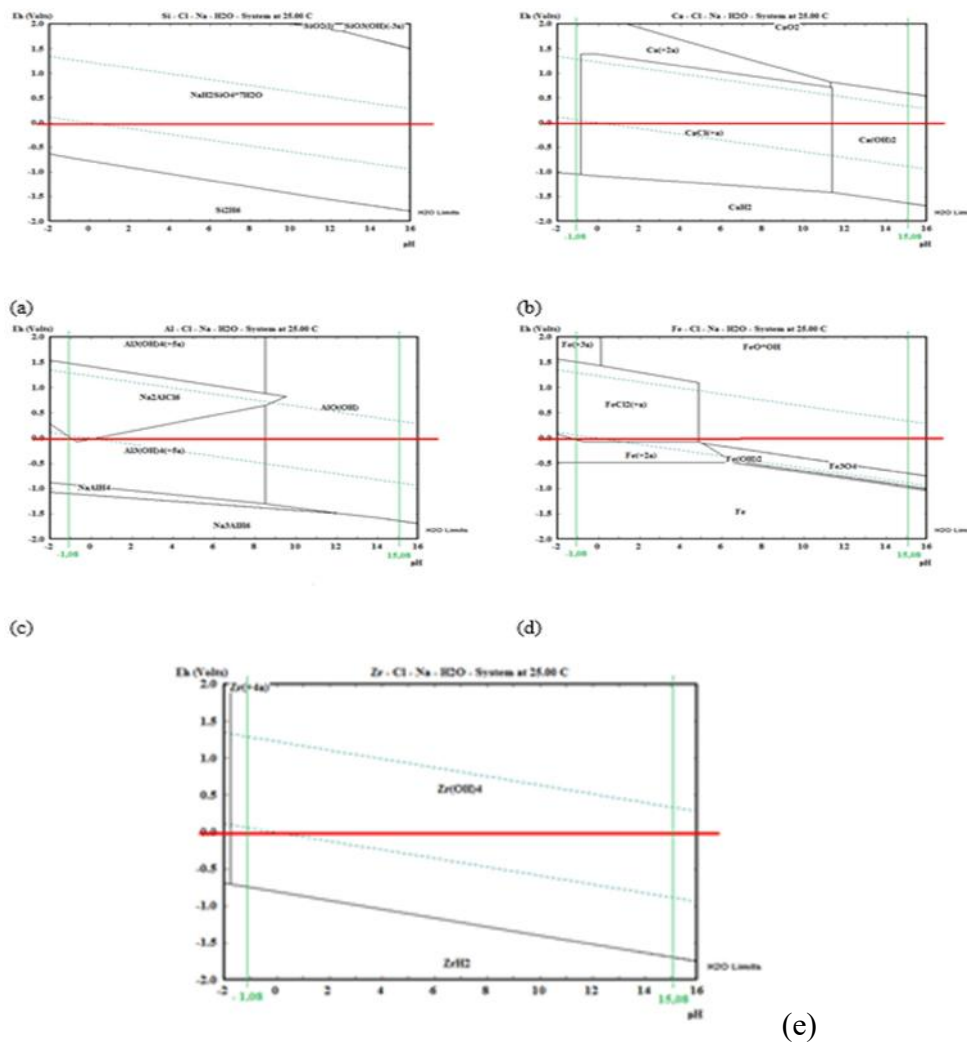
Pelarutan kembali produk persamaan reaksi dari Tabel 4 dengan NaOH diperlihatkan pada Tabel 5, hasil seluruh persamaan reaksi memperlihatkan nilai ΔG nya negatif. Pada reaksi TiO₂ dengan NaOH terlihat bahwa ΔG nya memiliki nilai paling negatif artinya produk padatan Na₂Ti₆O₁₃ terjadi paling dominan sehingga memungkinkan padatan titanium memiliki kadar tinggi.

8 November 2017

Tabel 5. Persamaan Reaksi TiO_2 dan Oksida Lain Major dengan Natrium Hidroksida [26].

No.	Persamaan Reaksi	ΔG (kcal)
1	$6\text{TiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13} + \text{H}_2\text{O}$	-23,582
2	$\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-21,228
3	$\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$	-37,834
4	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} = 2\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-8,165
5	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} = 2\text{NaFeO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-4,262
6	$\text{ZrO}_2 + \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{ZrO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-5,954

Diagram Eh-pH dari oksida-oksida SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan ZrO_2 yang telah dilarutkan pada HCl dan dilanjutkan pada NaOH. Daerah pelarutan tersebut dilakukan dari pH -1,08 (HCl 12 M) sampai dengan pH 15,08 (NaOH 12 M) dapat diperhatikan pada Gambar 4.



GAMBAR 4. Diagram Eh-pH hasil pelarutan ke dalam asam klorida yang dilanjutkan ke dalam natrium hidroksida untuk oksida-oksida (a) silika (b) kalsium (c) aluminium (d) besi (e) zirkon

Seluruh diagram Eh-pH pada Gambar 4 dihitung sesuai aktual penelitian pada tegangan 0 volt, hasil diagram Eh-pH tersebut memperlihatkan : untuk oksida silika membentuk senyawa hidrat; untuk oksida kalsium membentuk ion kalsium klorida dan senyawa kalsium hidroksida; untuk alumunium membentuk ion $Al_3(OH)_4^{+5a}$, senyawa Na_2AlCl_6 ; untuk oksida besi membentuk Fe^{+2a} , $FeCl_2^{+a}$, $FeO*OH$; dan untuk oksida zircon membentuk senyawa $Zr(OH)_4$. Seluruh ion-ion dari oksida OLM tersebut membuktikan bahwa pada pelarutan oksida OLM dengan HCl dilanjutkan dengan NaOH terjadi pelarutan.

KESIMPULAN

Dari hasil studi diatas dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemangangan terak timah Bangka 2 pada temperatur 900°C lalu dicelupkan ke dalam air memperlihatkan kadar tertinggi TiO_2 terdapat pada ukuran butir +60 mesh sampai dengan -100+150 mesh dengan total fraksi 89,7 %.
2. Pelarutan terak timah Bangka 2 yang telah dipanggang 900°C dan dicelup ke dalam air lalu dilarutkan ke dalam asam florida selama 2 jam didapatkan kadar optimal TiO_2 sebesar 14,64 % terjadi pada pelarutan HF 3M,
3. Pelarutan terak timah Bangka 2 untuk menghasilkan titanium masih dapat dilakukan pada pH 4~4,5 dengan tegangan 0 volt
4. Pelarutan terak timah Bangka yang telah dipanggang 900°C dan dicelup ke dalam air lalu dilarutkan ke dalam asam klorida selama 2 jam dan dilanjutkan ke dalam natrium hidroksida selama 20 jam didapatkan kadar optimal TiO_2 sebesar 18,64 % terjadi pada pelarutan HCl 6 M dilanjutkan ke dalam NaOH 10 M.
5. Larutan NaOH dapat melarutkan seluruh oksida lain major seperti SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 dan ZrO_2 .

ACKNOWLEDGMENTS

Special thanks are due to Mr Agus Budi Prasetyo (Research Centre for Metallurgy, Indonesian Institute of Sciences - LIPI, Indonesia) and Mr Delfiandra (Centre for Testing and Identification of Goods, Directorate General of Customs and Excise, Jakarta, Indonesia) for helpful supports.

The authors also wish to thank the Ministry of Research Technology and Higher Education and Directorate of Research and Community Engagement, Universitas Indonesia, under Postgraduate Research Grants for the financial support of this research.

REFERENSI

- [1] Nayl A A, Awwad N S and Aly H F 2009 Kinetics of acid leaching of ilmenite decomposed by KOH. Part 2. Leaching by H₂SO₄ and C₂H₂O₄ J. Hazard. Mater. 168 793–9
- [2] Jewell D, Jiao S, Kurtanek M, Fray D J, Mountain W and Corporation T 2012 Titanium Metal Production via Oxycarbide Electrorefining Int. Titan. Assoc. 3
- [3] Nurdin M, Watoni A H and Abdillah N 2016 Development of Extraction Method and Characterization of TiO₂ Mineral from Ilmenite Int. J. ChemTech Res. 9 483–91
- [4] Awwad N S and Ibrahim H A 2013 Kinetic extraction of titanium (IV) from chloride solution containing Fe(III), Cr(III) and V(V) using the single drop technique J. Environ. Chem. Eng. 1 65–72
- [5] Han Y F, Sun T C, Li J, Qi T, Wang L N and Qu J K 2012 Preparation of titanium dioxide from titania-rich slag by molten NaOH method Int. J. Miner. Metall. Mater. 19 205–11
- [6] Mehdilo A and Irannajad M 2012 Iron removing from titanium slag for synthetic rutile production Physicochem. Probl. Miner. Process. 48 425–39
- [7] Sui L L and Zhai Y C 2014 Reaction kinetics of roasting high-titanium slag with concentrated sulfuric acid Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed. 24 848–53
- [8] Yang F and Hlavacek V 2000 Effective Extraction of Titanium from Rutile by a Low-Temperature Chloride Process AIChE J. 46 355–60
- [9] Zhang W, Zhang L, Li Y and Li X 2015 An environmental procedure to extract titanium components and metallic iron from Ti-bearing blast furnace slag Green Process. Synth. 4 307–16
- [10] Zhao L, Wang L, Qi T, Chen D, Zhao H and Liu Y 2014 A novel method to extract iron, titanium, vanadium, and chromium from high-chromium vanadium-bearing titanomagnetite concentrates Hydrometallurgy 149 106–9
- [11] Permana S, Soedarsono J W, Rustandi A and Maksum A 2016 Other Oxides Pre-removed from Bangka Tin Slag to Produce a High Grade Tantalum and Niobium Oxides Concentrate IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 131
- [12] Maksum A, Rustandi A, Permana S, Soedarsono J W, Maksum A, Rustandi A and Permana S 2017 Influence of Roasting-Quenching Pretreatment on the Rice Husk Silica Prepared by Calcination Method 020009
- [13] Soedarsono J, Burgard M, Asfari Z and Vicens J 1995 Liquid-liquid extraction properties of 25,27-dicarboxy-26,28-dimethoxy-5,11,17,23-tetra-tert-butylcalix [4]arene towards the alkali ions Solvent Extr. Ions Exch. 13 755–69
- [14] Soedarsono J, Burgard M, Asfari Z and Vicens J 1993 Liquid-liquid Extraction of Rare Earth (III) Ions by 25,27-dicarboxy-26,28-dimethoxy-5,11,17,23- tetra- tert-butylcalix[4] arene XVII International Symposium on Macrocyclic Chemistry
- [15] Soedarsono J, Hagege A, Burgard M, Asfari Z and J. Vicens 1996 Liquid-liquid Extraction of Rare Earth Metals Using 25,27-dicarboxy-26,28-dimethoxy- 5,11,17,23-tetra- tert-butylcalix[4]arene J. Phys. Chem. 100 477–81

- [16] Odo J.U., Okafor WC, Ekpe SO and CC. and N 2014 Extraction of Niobium from Tin Slag Int. J. Sci. Res. Publ. 4 1–7
- [17] Trinopiawan K 2016 Ekstraksi Logam Tanah Jarang dari Residu Pelindian Produk Fusi Alkali Terak Peleburan Timah dengan Metode Pelindian dalam Asam Klorida (Institut Teknologi Bandung)
- [18] Trinopiawan K, Mubarak M Z, Mellawati J, Ani B Y, Prapatan M and Metalurgi T 2016 Rare Earth Ekements Leaching from Tin Slag Using Acid Chloride After Alkaline Fusion Process Eksplorium 37 41–50
- [19] Mutia A, Saroni B, Waluyo W and et.al 2015 Uranium And Thorium Precipitation From Solution Of Slag II Eksplorium 36 125–32
- [20] Anggraini M 2016 Separation Process of Radioactive and Rare Earth Elements From Slag II of Tin Slag (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
- [21] W. D. C and Wiley J 2007 Materials Science and Engineering
- [22] Suharyanto A, Sulistiyono E and Firdiyono F 2014 Dissolution of Tin Slag Bangka Using NaOH Solution Maj. Metal. V 7
- [23] Herliana L 2011 Effect of Roasting Reduction and Leaching Concentration of Sulphate Acid to Nickel Recovery from Limonite Ore (Universitas Indonesia)
- [24] Chang J, Peng J, Zhang L and Cheng J 2015 Extraction of Indium from Zinc Oxide Flue Dust by Microwave Sulfation Roasting and Water Leaching Drying, Roasting, Calcining Miner. 35–42
- [25] Olanipekun E O 2000 Kinetics of leaching laterite Int. J. Miner. Process. 60 9–14
- [26] Roine A, Kotiranta T and et.al 2006 HSC Chemistry, Version 6.0 03 5641
- [27] Bruice P and Yurkanis 2007 Organic Chemistry 1440

Fabrikasi Komposit *Hybrid* Sebagai Substitusi Komponen *Bearing*

Agus Pramono^{1, A)}, Anne Zulfia^{2, B)}, & Koswara^{3, C)}

¹, Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.

², Departemen Metalurgi & Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok.

³, PT. KPDS Jl. Australia II, Kav M.2 Kawasan Industrial Krakatau, Cilegon Banten 42443

^{a)} agus.pramono@untirta.ac.id ^{b)} anne.zulfia@metal.ui.ac.id ^{c)} dtkoswara@yahoo.co.id

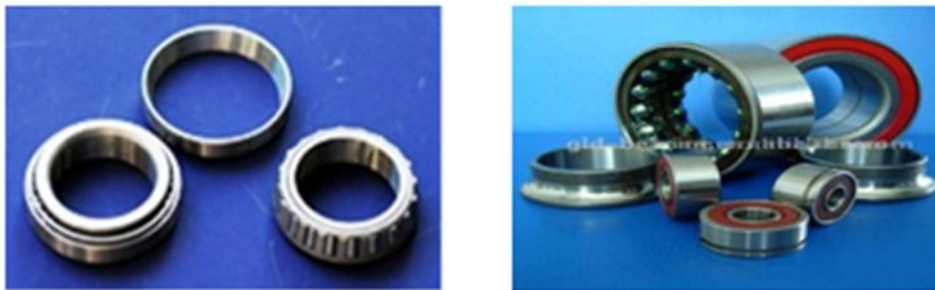
Abstract.

Komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih untuk menghasilkan suatu karakteristik sifat yang lebih baik dari material dasarnya. Penggunaan dua atau lebih dalam komposisi material komposit (komposit *hybrid*) diharapkan dapat menggabungkan sifat dari masing-masing unsur seperti aluminium yang memiliki sifat keuletan yang baik serta seng memiliki ketahanan korosi yang baik, grafit memiliki kekerasan yang tinggi, serta penggunaan magnesium yang merupakan *coupling agent* yang baik sehingga paduan antara kesemuanya dapat digunakan untuk memadukan kombinasi sifat unggul berupa kekuatan yang tinggi pada suhu kamar, sifat mampu bentuk serta ketahanan korosi yang tinggi. Teknologi metalurgi serbuk sangat sesuai diterapkan untuk penggunaan lebih dari dua unsur pada material komposit karena kompresibilitas serbuk mampu disatukan dengan penekanan dan pemanasan, dengan penggunaan temperaur yang sesuai. Tekanan yang digunakan menggunakan mesin press 500 bar dengan variasi temperatur 400°C, 450°C dan 500°C serta variasi fraksi volume: 40% al, 20% zn, 30% c, 10% mg : 35% al, 25% zn, 30% c, 10% mg dan 30% al 30%, zn, 30% c, 10% mg. Dari hasil penelitian dihasilkan temperature ideal yaitu 400°C karena pada temperatur ini seng tidak mencair sehingga terjadi ikatan antara unsur-unsur yang dipadukan, pada temperature diatas 400°C seng mencair dan menyebabkan penurunan sifat mekanik bahan. Kesesuaian temperature sintering dengan fraksi volume 35% al, 25% zn, 30% c, 10% mg mampu menghasilkan *solid phase* pada unsur seng sebagai matriks dengan aluminium, hasil reaksi produk dari komposit hybrid al-zn-c-mg yaitu $al_{12}mg_{17}$ yang tersebar diantara fasa-fasa bentukan komposit hasil teknologi metalurgi serbuk.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan komponen ringan dan kuat mengalami peningkatan yang cukup signifikan, hal ini mendorong perkembangan material baru yaitu komposit matrik logam (*metal matrix composite/mmc*). Perkembangan teknologi yang sangat pesat belakangan ini khususnya dalam teknologi manufaktur, membutuhkan material dengan sifat mekanis yang baik yaitu kuat dan ringan. Material komposit dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk menjawab tantangan tersebut. Material komposit dapat menggabungkan sifat - sifat unggul dari beberapa material untuk menghasilkan suatu material baru dengan sifat yang lebih baik. Mmc saat ini sedang dikembangkan untuk mendapatkan material dengan sifat yang diinginkan dan lebih baik dari material konvensional. Penggunaan dua matrik pada komposit yang lebih dikenal dengan komposit *hybrid* diharapkan dapat menggabungkan sifat dari masing-masing unsur. Unsur aluminium memiliki sifat yang ringan serta unsur seng memiliki sifat ketahanan korosi yang baik. Paduan antara aluminium, magnesium dan seng banyak digunakan karena memadukan kombinasi sifat unggul berupa kekuatan yang tinggi pada suhu kamar, sifat mampu bentuk serta ketahanan korosi yang tinggi. Material untuk aplikasi otomotif sangat banyak dan bervariasi, sehingga perkembangan material tersebut berpengaruh terhadap rancangan pembuatan otomotif. Pada saat ini perkembangan terakhir dari material yang mempunyai bobot ringan (misalnya aluminium dengan berat jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$) sudah mulai banyak digunakan, hal tersebut untuk menggantikan material yang mempunyai berat jenis tinggi (besi cor $7,8 \text{ g/cm}^3$). Material komposit *hybrid* mempunyai beberapa kegunaan atau penerapan, dimana salah satunya digunakan pada bidang otomotif yaitu bantalan (*bearing*). Pengurangan berat dari material tentunya akan berpengaruh pada pemakaian bahan bakar dari kendaraan. Dengan kata lain, pengurangan pemakaian bahan bakar berarti penghematan terhadap penggunaan energi [1-5]. *Bearing* merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk membantu proses pergerakan suatu komponen lainnya dengan gesekan sekecil mungkin. Proses pembuatan komponen dengan metode metalurgi serbuk dapat menghasilkan *self-lubricating bearing* yang memiliki pori yang berfungsi sebagai tempat penyimpana pelumas (*oil-reservoir*). *Bearing* yang terbuat dari proses metalurgi serbuk memiliki pori 20-25%, dan dengan adanya pori inilah komponen yang terbuat dari proses metalurgi serbuk ideal untuk digunakan aplikasi *bearing*, karena pori mampu menyerap panas sehingga mampu mengurangi efek panas akibat gesekan antar komponen [6].

Performa dari komponen *bearing* dapat terlihat pada gambar 1. Komposit matrik logam aluminium produk metalurgi serbuk saat ini semakin berkembang penggunaannya. Aplikasi penggunaan komponen-komponen aluminium produk metalurgi serbuk semakin meningkat jumlahnya seperti pada penggunaan industri otomotif dan komponen-komponen struktural. Komposit matriks logam aluminium-grafit juga dikembangkan untuk aplikasi material *bearing* dimana umumnya material *bearing* yang digunakan adalah *bronze* (cu-sn) atau *iron graphite* [7]. Penelitian ini mengupas topik rekomendasi material *bearing* dari bahan komposit aluminium dan zeng sebagai matriks dan grafit untuk penguatnya. Penambahan zeng sebagai bahan matriks berperan untuk mengikat grafit kedalam struktur aluminium sehingga akan memenuhi peran *self-lubricating bearing* dan peran grafit untuk meredam panas dan getaran pada komponen bearing [8]. Sehingga hasil dari karakterisasi komposit *hybrid* ini diharapkan mampu untuk memenuhi kebutuhan produk *bearing* dalam memenuhi rantai produksi yang semakin meningkat [9].



GAMBAR 1. Bentuk *Bearing* pada Komponen-Komponen Otomotif [8-9]

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan adalah Aluminium seri 1100 yang berperan sebagai matriks, sedangkan seng sebagai matriks kedua, keberadaan zeng sebagai pembasah untuk mengikat penguat. Komposisi Aluminium dapat dilihat dalam tabel 1 dan seng terlihat di tabel 2.

Al	Si	Fe	Mn	Ni	Ti	V	Mg	Cr	Cu
99,60	0,0618	0,3076	0,0016	0,0024	0,0117	0,0063	0,0048	0,002	0,0025

Tabel 1. Komposisi kimia aluminium paduan seri 1100 (%)

Zn	Cd	Lead
99,97	0,0002	0,003

Tabel 2. Komposisi kimia seng (%)

2.2 Metode

Proses pembuatan komposit *hybrid* menggunakan metode metalurgi serbuk (p/m), logam aluminium, seng dan magnesium dihaluskan dengan alat bubuk sehingga menghasilkan geram kasar. Magnesium didapatkan dari PT KPDS, seng didapatkan dari CV BMJ Galvanizing. Geram kasar dihaluskan menggunakan alat *disk-mill* selama 30 menit sampai mendapatkan ukuran yang diinginkan. *Screening* pada serbuk menghasilkan ukuran 100# untuk serbuk aluminium dan seng, serta ukuran 200# untuk serbuk grafit dan magnesium. Penimbangan dan pencampuran serbuk dengan komposisi sebagai berikut:

- 1) Sampel A 40% Al : 20% Zn : 30% C : 10% Mg
- 2) Sampel B 35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg
- 3) Sampel C 30% Al : 30% Zn : 30% C : 10% Mg

Masing-masing Sampel disiapkan sebanyak tiga buah dengan proses pencampuran serbuk aluminium, seng, grafit dan magnesium. Pencampuran dilakukan dengan proses *hand-mixing*. Tahapan Proses didahului dengan kompaksi serbuk dari tiap komposisi yang dimasukkan ke dalam cetakan logam yang telah disiapkan dengan, besaran penekanan mencapai 200 bar dengan waktu tahan 60 menit. Setelah itu dilanjutkan dengan *ejector* untuk mengeluarkan bakalan *green powder* dari cetakan. Proses Sintering pada *muffle furnace* bervariasi antara 400°C, 450°C dan 500°C selama selama 60 menit. Kodefikasi sampel hasil sintering yaitu:

- 1) A1 untuk sampel A dengan temperatur sintering 400°C.
- 2) A2 untuk sampel A dengan temperatur sintering 450°C.
- 3) A3 untuk sampel A dengan temperatur sintering 500°C.
- 4) B1 untuk sampel B dengan temperatur sintering 400°C.
- 5) B2 untuk sampel B dengan temperatur sintering 450°C.
- 6) B3 untuk sampel B dengan temperatur sintering 500°C.

- 7) C1 untuk sampel C dengan temperatur sintering 400°C.
- 8) C2 untuk sampel C dengan temperatur sintering 450°C.
- 9) C3 untuk sampel C dengan temperatur sintering 500°C.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi komposit *hybrid* aluminium, seng dan magnesium berpenguat grafit, meliputi pengujian densitas dan porositas, karakterisasi mekanik dan struktur mikro. Pengujian densitas dan porositas dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap nilai densitas dan porositas komposit dengan komposisi fraksi volume yang berbeda. Karakterisasi mekanik berupa pengujian kekerasan yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur sintering terhadap nilai kekuatan yang optimal. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode brinell. Pengujian menggunakan indentor bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban sebesar 62,5 kgf. Pengamatan metalografi dilakukan pada sampel komposit untuk mengetahui hasil dari struktur mikro yang terbentuk dari komposit *hybrid*.

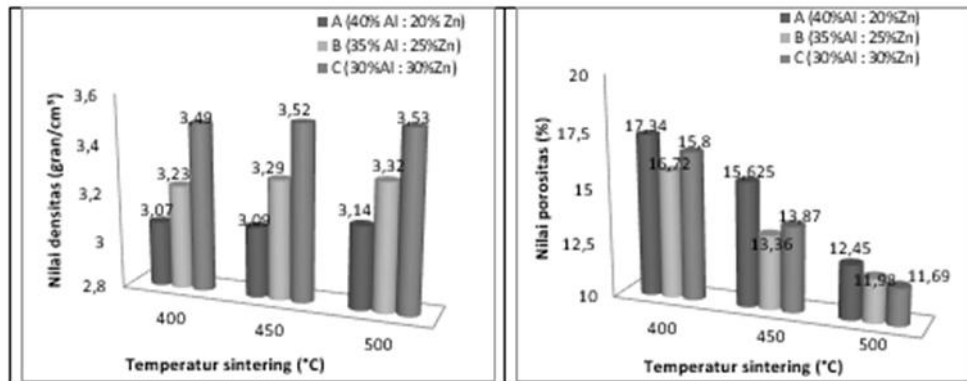
Hasil karakterisasi komposit *hybrid* akan direkomendasikan untuk produk bearing, beberapa karakteristik mengacu pada standart yang sama dalam memenuhi karakteristik komposit *hybrid* untuk aplikasi *bearing*. Tujuan dari pemenuhan standart karakterisasi sebagai acuan aplikasi komponen automotif, karena dengan material komposit *hybrid* yang cenderung lebih ringan maka akan memenuhi kriteria hemat bahan bakar.

3.1 Pengujian densitas dan porositas

Nilai densitas dan porositas terdapat pada gambar 2, densitas semakin meningkat seiring dengan perubahan fraksi volume dan peningkatan temperatur sintering, namun kenaikan nilai densitas relatif terhadap variable terkontrol. Perubahan fraksi volume pada sampel dengan menurunnya fraksi volume aluminium dan meningkatnya fraksi volume seng. Perbedaan nilai densitas aluminium dan seng yang cukup besar, yaitu 2,71 gram/cm³ dan 7,14 gram/cm³ mempengaruhi perubahan nilai densitas. Dari sampel A hingga ke sampel C, nilai densitas semakin meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi volume seng dan menurunnya fraksi volume aluminium.

8 November 2017

Semakin meningkatnya temperatur sintering maka akan mendorong terjadinya transport atom yang menghasilkan aliran massa melalui proses difusi dengan permukaan, batas butir atau kisi [10]. Temperatur yang tinggi merupakan *driving force* yang dapat meningkatkan pergerakan batas butir dan difusi atom sehingga akan terjadi peristiwa pemadatan yang akan mengurangi jumlah pori dalam bakalan [11]. Proses pemadatan terjadi dengan adanya kerapatan antar partikel serbuk, dimana serbuk aluminium-seng-grafit saling mengisi pori-pori antar partikel. Dengan partikel yang rapat maka semakin dekat jarak antar atom pada material tersebut sehingga semakin tinggi nilai densitas dari material tersebut. Peningkatan nilai densitas dipengaruhi dengan perubahan fraksi volume, sedangkan untuk temperatur sintering berpengaruh pada nilai densitas khususnya dalam pembentukan *neck* pada serbuk bakalan [12].



GAMBAR 2. Pengaruh temperatur sintering terhadap (a) nilai densitas komposit hybrid (b) nilai porositas komposit *hybrid*

Nilai densitas optimal didapat pada sampel C3 (temperatur sintering 500°C) dengan nilai densitas sebesar 3,53 gram/cm³ dan nilai densitas terkecil dimiliki oleh sampel A1 (temperatur sintering 400°C) dengan nilai densitas 3,07 gram/cm³. Pada proses sintering akan terjadi proses difusi atom sehingga jumlah pori semakin berkurang. Semakin meningkatnya temperatur sinter mengakibatkan partikel yang menjadi rapat dan jarak antar atom yang semakin dekat, maka pori-pori yang ada semakin berkurang [10-12], sehingga nilai porositas pun akan semakin menurun.

Penurunan porositas disertai dengan perubahan fraksi volume dan peningkatan temperatur sintering. Pada temperatur 400°C, nilai porositas menurun dari fraksi volume A 17,34%, kemudian pada fraksi volume C menjadi 16,72% dan pada fraksi volume B 15,8%. Penurunan nilai porositas juga terjadi pada temperatur 450°C, nilai porositas menurun dari fraksi volume A 15,625%, kemudian pada fraksi volume C menjadi 13,87% dan pada fraksi volume B 13,36%.

Pada temperatur 500°C, nilai porositas juga mengalami penurunan dari fraksi volume A 12,45%, kemudian pada fraksi volume B menjadi 11,98% dan pada fraksi volume C 11,69%. Perubahan nilai porositas yang terjadi pada tiap temperatur berbeda-beda dimana pada temperatur 400°C dan 450°C penurunan nilai porositas terjadi dari sampel A kemudian C dan B, sementara pada temperatur 500°C penurunan terjadi dari sampel A kemudian B kemudian C. Terjadinya perbedaan pada penurunan nilai porositas ini dipengaruhi perubahan fraksi volume yang diikuti dengan meningkatnya komposisi Zn serta meningkatnya temperatur sintering. Pada temperatur sintering 400°C unsur Zn masih berupa serbuk dan berikatan dengan serbuk aluminium maupun grafit, dan pada temperatur 450°C dan 500°C unsur Zn sudah leleh sehingga lelehan Zn mengisi pori sehingga pada proses ini proses difusi atom tidak dominan. Nilai porositas terendah didapatkan pada sampel C3 (pada temperatur sintering 500°C) sebesar 11,69% dan nilai porositas tertinggi terdapat pada sampel A1 (temperatur sintering 400°C) sebesar 17,34%.

3.2 Pengujian Strukturmikro

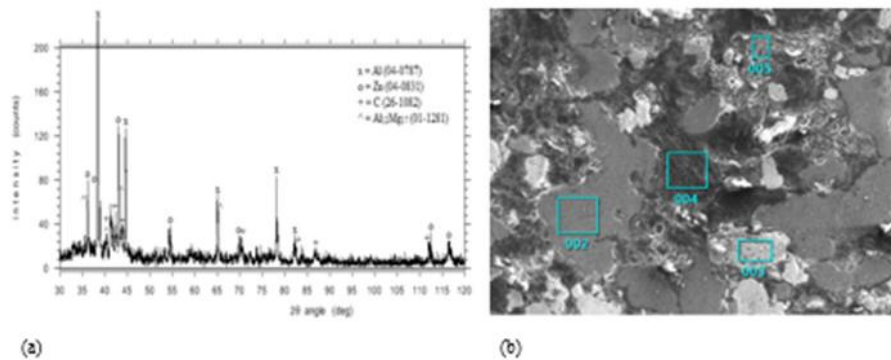
3.2.1 Karakterisasi XRD dan EDS

Hasil pengujian XRD ditunjukkan pada Gambar 3 (a), menunjukkan tampilan puncak *peak* yang merupakan tampilan intensitas dari unsur dan senyawa yang ada dalam komposit *hybrid*. Intensitas masing-masing unsur berbeda. Senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ memiliki intensitas yang cukup banyak, dan juga tidak terdapat *peak* untuk unsur magnesium. Hal ini mengindikasikan bahwa unsur magnesium mengalami reaksi dengan aluminium dan mengalami oksidasi sehingga terbentuk senyawa baru yaitu $Al_{12}Mg_{17}$, yang merupakan reaksi produk dalam interface. Senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ ini merupakan hasil produk komposit *hybrid*.

Pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur pada masing-masing titik (titik yang dipilih berdasarkan perbedaan warna yang ada pada gambar). Terlihat pada Gambar 3 (b) Setiap titik memiliki warna yang berbeda-beda. Masing-masing area titik ini memiliki komposisi unsur yang berbeda-beda pula. Terdapat unsur utama dari komposit ini, antara lain aluminium, seng serta grafit. Magnesium tidak terlihat dikarenakan jumlahnya yang hanya sedikit dan magnesium telah bereaksi dengan aluminium membentuk senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ dan juga mengalami oksidasi. Tabel 3 menunjukkan data komposisi kimia hasil pengujian EDS pada sampel komposit B1 dengan beberapa titik Titik 2 memiliki nilai terbesar 85,50% yang dimiliki oleh aluminium.

8 November 2017

Titik 3 sebesar 80,24% yaitu seng, sedangkan titik 4 dengan 92,14% merupakan unsur grafit. Titik 5 komposisi tertinggi dimiliki oleh oksigen, berarti bahwa terbentuk lapisan oksida pada sampel komposit ini. Lapisan oksida dapat terbentuk dengan mudah karena unsur magnesium merupakan unsur yang mudah teroksidasi. Terbentuknya lapisan oksida ini tidak dikehendaki karena oksida ini bersifat getas sehingga dapat menurunkan sifat mekanik [7-8]. Unsur Fe juga terdapat pada sampel komposit ini. Unsur Fe merupakan unsur bawaan yang terdapat pada aluminium (dapat dilihat pada uji komposisi awal aluminium yang mengandung Fe sebesar 0,3076%).



GAMBAR 3. (a) Hasil pengamatan XRD (X-Ray diffraction) pada sampel B1 (komposisi 35% Al : 25% Zn : 30%Gr : 10% Mg dengan temperatur sintering 400°C), (b) Hasil pengamatan EDS (energy dispersive spectroscopy) pada sampel B1 (komposisi 35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur sintering 400°C).

3.2.1 Identifikasi Unsur dalam Komposit Hybrid

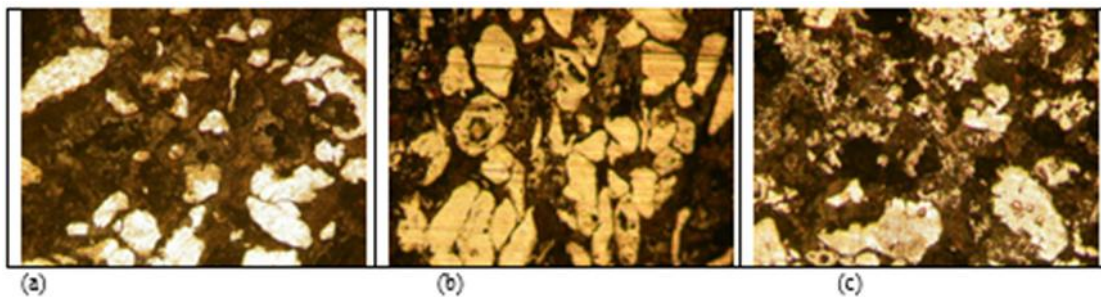
TABLE 3. Komposisi kimia hasil pengujian EDS berdasarkan titik pada sampel B1 (35% Al : 25% Zn dengan temperatur sintering 400°C).

Unsur	Komposisi Kimia (% Berat)			
	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5
C	7.47	6.32	92.14	6.47
O	4.39	8.23	6.24	35.79
Mg	0.68	0.09	0.18	22.99
Al	85.50	0.55	0.45	2.50
Fe	0.41	4.58	0.01	0.35
Zn	1.55	80.24	0.98	31.92

8 November 2017

3.3.3 Karakterisasi Mikroskop Optik

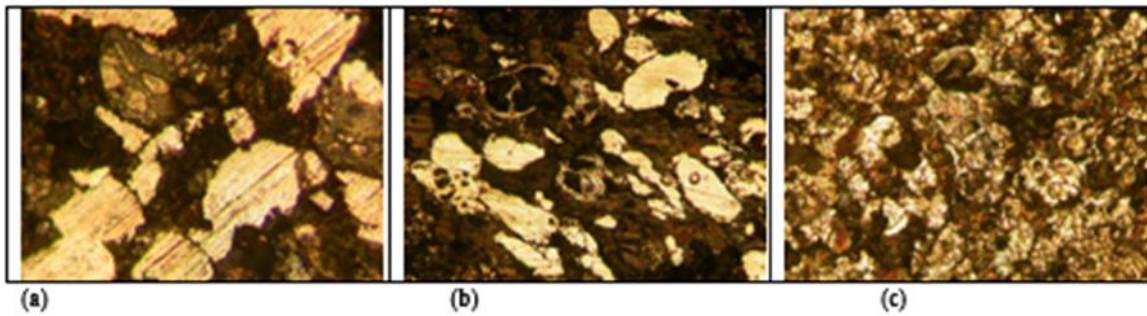
Pengamatan metalografi sampel komposit *hybrid* mengindikasikan warna putih adalah aluminium, hitam terang menunjukkan unsur grafit sedangkan untuk warna hitam pekat menunjukkan pori. Warna abu-abu gelap adalah unsur seng dan warna abu-abu terang merupakan senyawa $Al_{12}Mg_{17}$. Struktur mikro untuk sampel A masing-masing menerima perlakuan temperatur sintering yang berbeda yaitu: 400°C, 450°C dan 500°C secara berurut yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a), (b) dan (c). Kesemuanya terdapat warna abu-abu terang sehingga pada ketiga sampel terdapat senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ sebagai reaksi produk. Pada Gambar (b) dan (c) terlihat warna abu-abu gelap yang lebih banyak dibandingkan dengan Gambar (a), hal ini menunjukkan bahwa unsur seng telah mencair sehingga terjadi proses kelarutan cairan dalam padatan, hal ini yang akan menghasilkan aglomer sebagai pemicu pori.



GAMBAR 4. Struktur mikro komposit *Hybrid*: (a) Sampel A1 (40% Al : 20% Zn : 30% C : 10% Mg temperatur *sintering* 400°C) pembesaran 100x (b) sampel A2 (40% Al : 20% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 450°C) pembesaran 100x (c) sampel A3 (40% Al : 20% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 500°C) pembesaran 100x

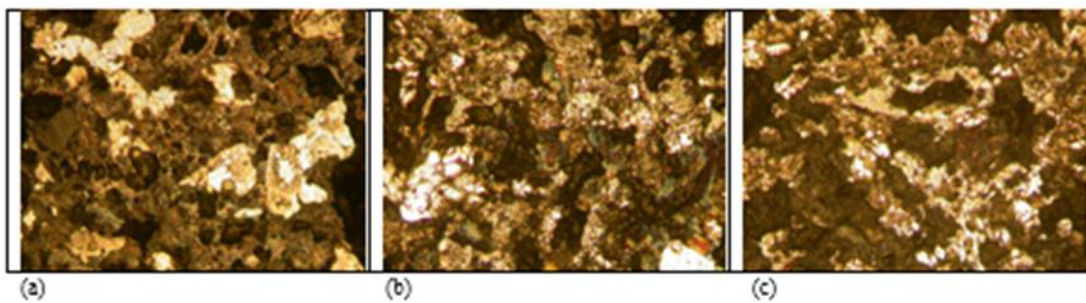
Foto struktur mikro untuk sampel B juga mendapatkan sintering yang bervariasi: 400°C, 450°C dan 500°C, secara berurut ditunjukkan pada Gambar 5. Pada Gambar (a) dan (b) unsur seng terlihat lebih banyak dibanding pada Gambar (c) yang mana persebarannya cukup merata antara aluminium, seng dan grafit. Dari ketiga gambar terlihat pula unsur seng terlihat lebih banyak dibandingkan pada sampel A karena pada sampel B unsur seng memiliki fraksi volume yang lebih banyak sebesar 25%. Jumlah pori juga terlihat berkurang dengan meningkatnya temperatur sintering pada masing-masing sampel. Pada sampel B ini juga terdapat senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ sebagai hasil reaksi produk komposit *hybrid*.

8 November 2017



GAMBAR 5. Struktur mikro komposit *Hybrid*: (a) Struktur mikro komposit sampel B1 (35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 400°C) pembesaran 100x (b) Struktur mikro komposit sampel B2 (35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 450°C) pembesaran 100x (c) Struktur mikro komposit sampel B3 (35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 500°C) pembesaran 100x

Struktur mikro untuk sampel C ditunjukkan pada Gambar 6. (a) dan (b) terdapat perbedaan yang signifikan dari gambar mikrostruktur yang sebelumnya (Gambar 4 - 5). Gambar 6 menunjukkan persebaran yang cukup merata antara aluminium, seng dan juga grafit. Komposisi ketiga unsur tersebut untuk sampel C menggunakan fraksi volume 30% Al : 30% Zn : 30% C sehingga persebaran terlihat lebih merata dibanding sampel sebelumnya karena fraksi volume sampel C sama rata. Untuk jumlah pori dapat dilihat mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur *sintering* sehingga senyawa $Al_{12}Mg_{17}$ telah terbentuk pada sampel C.

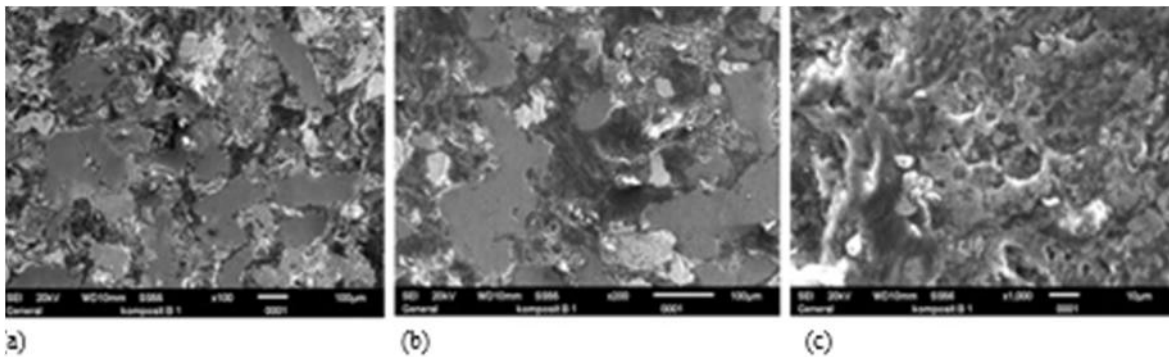


GAMBAR 6. Struktur mikro komposit *Hybrid*: (a) Struktur mikro komposit sampel C1 (30% Al : 30% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 400°C) pembesaran 100x (b) Struktur mikro komposit sampel C2 (30% Al : 30% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 450°C) pembesaran 100x (c) Struktur mikro komposit sampel C3 (30% Al : 30% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur *sintering* 500°C) pembesaran 100x

8 November 2017

3.2.4 Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian dilakukan pada sampel dengan nilai properties yang paling optimal. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa matrik aluminium-seng serta penguat grafit tersebar secara merata dikarenakan jumlah fraksi volume tidak terlalu berbeda, (sampel B1). Dihubungkan dengan Gambar 7 dapat dilihat bahwa masing-masing unsur memiliki perbedaan warna. Warna abu-abu tua merupakan unsur aluminium, warna hitam muda merupakan unsur grafit, sedangkan hitam pekat merupakan pori. Unsur seng ditunjukkan berupa warna abu-abu muda. Dan warna abu-abu terang merupakan senyawa $Al_{12}Mg_{17}$, yang merupakan senyawa hasil reaksi antara unsur matriks dengan *coupling agent*.



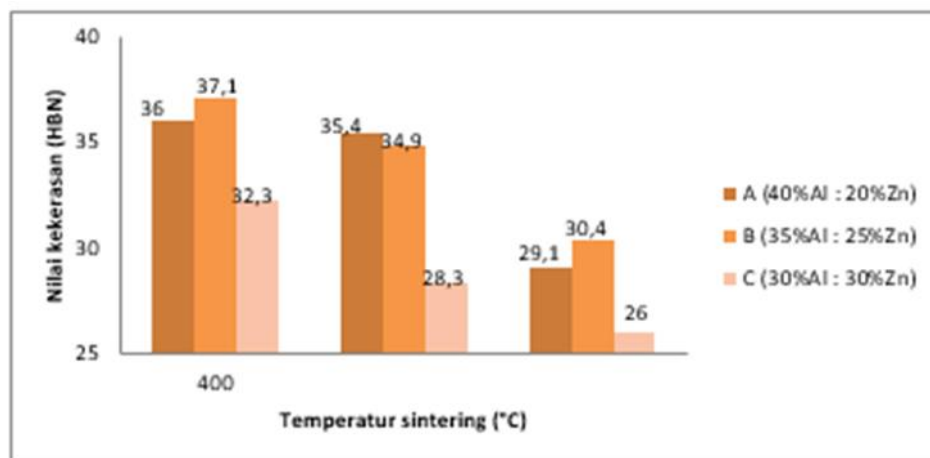
GAMBAR 7. Hasil pengamatan SEM pada sampel B1 (35% Al : 25% Zn : 30% C : 10%Mg):
(a) pembesaran 100x (b) pembesaran 200x (c) pembesaran 1000x

3.3 Pengujian Mekanik

Kecenderungan nilai kekerasan menurun seiring dengan perubahan fraksi volume dan temperatur sintering. Pada temperatur sintering 400°C, nilai kekerasan tertinggi didapat dari fraksi volume B sebesar 37,1 HBN, kemudian diikuti fraksi volume A dengan nilai 36 HBN dan fraksi volume C sebesar 32,2 HBN. Perubahan nilai kekerasan dipengaruhi juga oleh fraksi volume dan temperatur sintering. Penurunan nilai kekerasan ini diikuti dengan perubahan fraksi volume dengan menurunnya fraksi volume aluminium dan meningkatnya fraksi volume seng, perbedaan nilai kekerasan aluminium dan seng yang cukup besar, yaitu 28 HBN dan 6 HBN mempengaruhi perubahan nilai kekerasan.

8 November 2017

Komposisi seng yang semakin tinggi mengakibatkan nilai kekerasan semakin menurun karena nilai kekerasan dari seng yang kecil. dipengaruhi juga peningkatan temperatur sintering, hal ini dipengaruhi oleh proses sintering dimana pada temperatur sintering 450°C dan 500°C terjadi proses *swelling* pada *liquid phase* sintering, pada temperatur sintering tersebut, unsur Zn yang memiliki titik lebur pada temperatur 420°C telah mencair sehingga terjadi kelarutan fasa cair Zn ke dalam fasa padat. Lelehan Zn bergerak menuju padatan, dan mengisi pori-pori kecil terlebih dahulu dan kemudian meninggalkan pori serta mendorong partikel Al dan C, seperti terlihat pada Gambar 4-7 dimana struktur mikro yang terlihat persebaran antara aluminium dan grafit semakin sedikit dan lebih didominasi warna cokelat gelap yang merupakan unsur Zn yang telah leleh. Nilai kekerasan optimal didapat pada sampel B1 (fraksi volume 35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan temperatur sintering 400°C) dengan nilai kekerasan sebesar 37,1 BHN. Sampel B1 mengalami perlakuan temperatur sintering pada temperatur 400°C dimana temperatur ini masih di bawah temperatur leleh Zn sehingga unsur Zn pada komposisi ini belum mengalami pencairan dan proses yang terjadi adalah solid phase sintering.



GAMBAR 9. Nilai kekerasan komposit *hybrid* (Aluminium, seng, grafit dan magnesium)

KESIMPULAN

Penelitian komposit *hybrid* aluminium-seng-magnesium berpenguat grafit menghasilkan beberapa variable ideal antara lain:

1. Komposisi fraksi volume yang optimal yaitu komposisi B 35% Al : 25% Zn : 30% C : 10% Mg dengan nilai kekerasan tertinggi serta nilai densitas dan porositas optimal.
2. Temperatur *sintering* yang optimal yaitu di bawah 450°C dimana tidak terjadi *liquid phase sintering*.
3. Hasil reaksi produk dari komposit hybrid Al-Zn-C-Mg yaitu $Al_{12}Mg_{17}$

Untuk menghasilkan properties ideal komposit hybrid maka parameter terkontrol harus diperhatikan, terutama pemilihan temperatur sintering harus dibawah *liquid phase sintering* serta pemilihan fraksi volume disesuaikan dengan prosentase kesetimbangan dari masing-masing unsur yang dipadukan sehingga akan menghasilkan reaksi produk dasebagai reaksi produk antara matrik dengan *coupling agent*.

REFERENSI

1. R. F Gibson. *Principle of Composite Material Mechanics*. (Mc Graw Hill, Inc. New York, 1994)
2. Anggrainy Ricca, Anne Zulfia. Pengaruh Temperatur *Sinter* Terhadap Karakteristik Komposit Matriks Logam Aluminium Grafit Produk Metalurgi Serbuk”. 2006 Depok. Universitas Indonesia.
3. Agus Pramono. Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan. Kuliah Umum Teknik Metalurgi. 2008. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon Banten.
4. Agus Pramono, Salahudi Yunus ”Karakterisasi Phisik & Struktur Mikro Komposit logam Aluminium Grafit Hasil Proses Metalurgi Serbuk”, Jurnal ROTOR, Vol 4, No 1, Teknik Mesin Universitas Negeri Jember, Januari 2011
5. Agus Pramono, Dwinanto “Karakteristik komposit Matrik logam (Al-Alumina) Proses Primex untuk Aplikasi Komponen Otomotif, Jurnal Penelitian LPPM Untirta, edisi 19 volume 1 Pebruari 2012
6. Rizkiyani, Aini Ayu. Pengaruh Kadar Grafit Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium Grafit Dengan *Wetting Agent* Tembaga. 2008 Depok. Universitas Indonesia.
8. Ekawati Dhian, Zulfia Anne. Pengaruh Temperatur *Sinter* Terhadap Karakteristik Komposit Aluminium Grafit dengan *Wetting Agent* Tembaga. 2008 Depok. Universitas Indonesia.
9. Agus Pramono, Pengaruh Variasi Waktu Tahan Temperatur Sintering Komposit Aluminium Grafit Untuk Aplikasi Bearing. 11-12 Mei 2011, Hotel Permata Krakatau, Cilegon – Banten, Seminar Nasional Industrial Services (SNIS), Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
10. Agus Pramono, Komposit Manufaktur sebagai Trend Teknologi Masa Depan. 5 Maret 2014, Kompasiana. <http://www.kompasiana.com/>.
11. David A. Porter, February 12, 2009. Phase Transformations in Metals and Alloys, Third Edition (Revised Reprint) 3rd Edition.
12. H.B. Huntington, Effect of driving forces on atom motion. Thin Solid Films. Volume 25, Issue 2, February 1975, 265-280.
13. Randall M German. 1996. ”Sintering Theory and Practice”. New York. USA.

Studi Pengaruh Pengelasan Terhadap Perilaku Korosi Pada Material API 5L X65 Dengan Metode Polarisasi Dan Imersi

Bambang Widyanto^{1,A)}, & Ainun Ahmad Dzikri Jatmiko^{2,}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

²Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

a)bambwid@cbn.net.id

b)ainunahmd@students.itb.ac.id

Abstract.

The most common type of pipe is metal pipe due to its high strength and ductility, but usually metal pipe are produced in 6m size so that a welding method is needed to connect each pipe, but the welding method can causes the micro structure changes in the welding area. The changes in microstructure are also capable of changing the mechanical properties and corrosion resistance in welding area. The experiment was done on API 5L X65 which has been welded. The corrosion testing method is done by immersion method for 7 days and polarization method. Both are carried out under open space conditions, room temperature and atmospheric pressure with an electrolyte of 3.5% by weight of NaCl. From the results of immersion and polarization testing it is known that the highest corrosion rate occurs in the Heat Affected Zone, then the next area that has the highest corrosion rate is the weld metal. The parent metal is the region having the lowest corrosion rate among the other welded regions. The potensial corrosion also have same tendency where Heat Affected Zone have the lowest potential corrosion, then weld metal, and the most positive potential corrosion is base metal. From the results of immersion testing it is seen that the type of corrosion that occurs in all welding areas is uniform corrosion.

Keywords: Corrosion, Immersion, Polarization, Welding

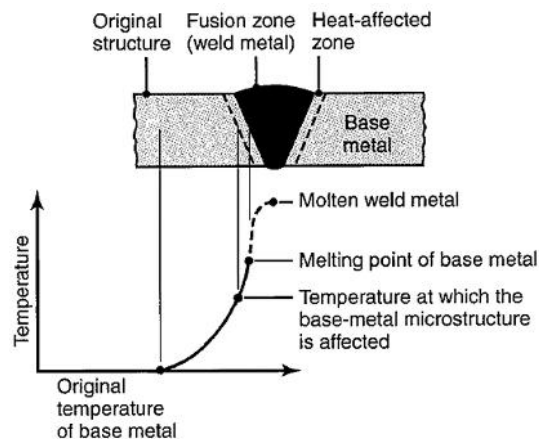
8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Pipa adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain [1]. Pipa yang pada umumnya terbuat dari logam biasa di manufaktur dengan panjang 6m, sehingga dibutuhkan metode penyambungan untuk menyambungkan antar pipa, dan metode penyambungan yang paling sering digunakan adalah metode pengelasan.

Menurut Deutsche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam ataupun paduan yang terjadi pada kondisi cair [2]. Kondisi cair logam berada pada temperatur yang sangat tinggi, sehingga metode pengelasan akan membuat munculnya perbedaan struktur mikro akibat konduksi panas dari logam las. Setidaknya daerah hasil pengelasan dapat dibedakan menjadi 3 hal, yakni logam las, heat affected zone (HAZ), dan logam induk [3]

Logam las adalah daerah solidifikasi logam pengisi saat pengelasan[3]. HAZ adalah bagian dari logam induk yang terpengaruh panas dan mengalami perubahan struktur mikro[3]. Sedangkan logam induk adalah logam asli yang tidak mengalami perubahan struktur mikro[3]. Gambar 2.1 dibawah ini menjelaskan daerah daerah yang terbentuk akibat adanya konduksi panas pada proses pengelasan.



GAMBAR 1.1 Daerah yang Terbentuk Akibat Pengelasan[4]

Korosi adalah mekanisme kerusakan atau penurunan kualitas suatu material akibat interaksinya dengan lingkungan[5]. Pada logam korosi terjadi secara elektrokimia, dimana terjadi reaksi kimia yang melibatkan pertukaran elektron sehingga membuat fenomena korosi dapat terjadi[6].

8 November 2017

Setidaknya harus terdapat 4 komponen yang terlibat sehingga korosi dapat terjadi[7], yakni katoda sebagai komponen yang menerima elektron dan mengalami reaksi reduksi, anoda sebagai komponen yang memberikan elektron dan mengalami reaksi oksidasi, konduktor sebagai penghubung anoda dan katoda juga sebagai komponen yang mengalirkan elektron, dan elektrolit yang merupakan fluida sebagai tempat ion ion berada. Untuk menentukan bagian yang menjadi anoda dan katoda maka dapat diukur nilai potensialnya. Semakin positif nilai potensialnya maka bagian tersebut yang akan menjadi katoda, sedangkan semakin negatif nilai potensialnya maka bagian tersebut yang akan menjadi anoda.

Berubahnya struktur mikro pada logam hasil pengelasan akan ikut merubah ketahanan korosinya [8]. Dimana kecenderungan yang sering terjadi pada jenis logam baja karbon terkait laju korosinya adalah bila memiliki struktur mikro dengan butir yang semakin halus, maka semakin besar juga laju korosi yang terjadi [9]. Hal ini dikarenakan struktur mikro dengan butir halus memiliki batas butir yang lebih banyak, batas butir merupakan daerah dengan level energi yang lebih tinggi, sehingga membuatnya tidak stabil dan paling mudah bereaksi, sehingga bila dikaitkan dengan korosi maka daerah dengan batas butir yang paling banyak akan paling mudah bereaksi secara elektrokimia dan membuat korosi lebih mudah terjadi.

Perlu penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh pengelasan terhadap laju korosi, potensial korosi, serta jenis korosi yang terjadi pada setiap daerah pengelasan pada suatu logam.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan untuk penelitian adalah pipa API 5L X65 yang telah dilakukan pengelasan dengan metode arc welding. Tabel 2.1 menunjukkan komposisi kimia dari logam las dan logam induk yang dikarakterisasi menggunakan metode Optical Emission Spectroscopy

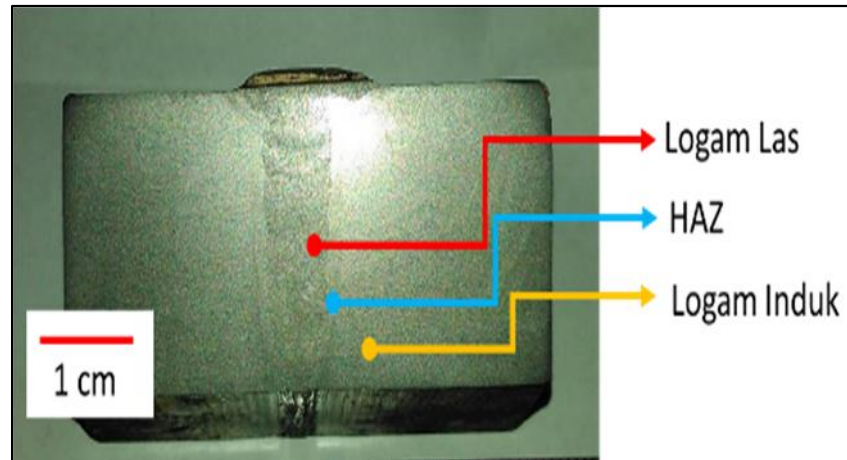
TABEL 2.1 Komposisi Kimia Spesimen Pengujian [10]

Unsur	Carbon	Sulfur	Phosporus	Manganese	Titanium
Logam Las	0,091	0,004	0,016	1,303	0,004
Logam Induk	0,16	0,01	0,02	1,65	0,06

2.2 Metode

8 November 2017

Pemotongan spesimen dilakukan pada setiap daerah hasil pengelasan, sehingga diperlukan identifikasi terlebih dahulu untuk mengetahui batas dari daerah daerah pengelasan. Identifikasi menggunakan metode deep etching dengan nital 3%. Gambar 2.1 dibawah menunjukkan hasil identifikasi untuk setiap daerah pengelasan.



GAMBAR 2.1 Identifikasi Daerah Pengelasan

Pengukuran laju korosi menggunakan metode polarisasi mengikuti standar ASTM G 5-94 untuk mengetahui laju korosi dan potensial korosinya. Dan metode imersi mengikuti standar ASTM G 31-72 untuk mengetahui laju korosi dan jenis korosi yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan larutan elektrolit NaCl 3,5% berat di sistem terbuka sehingga oksigen dapat masuk kedalam sistem, pada temperatur ruangan dan tekanan atmosfer

IMERSI

Preparasi spesimen imersi dilakukan dengan memotong semua daerah pengelasan sehingga mendapatkan pelat tipis dari daerah logam las saja, HAZ saja, logam induk saja, dan gabungan dari seluruh daerah. Semua pelat kemudian di grinding hingga grid 2000 dan ditimbang massanya sebelum pengujian, kemudian di tenggelamkan pada larutan NaCl 3.5% dengan posisi bersandar seperti pada gambar 2.2. Pengujian dilakukan selama 7 hari. Setelah pengujian spesimen dibersihkan dengan larutan pickling untuk menghilangkan produk korosi, kemudian ditimbang massanya setelah pengujian lalu di lihat morfologi permukaan dengan mikroskop stereo.

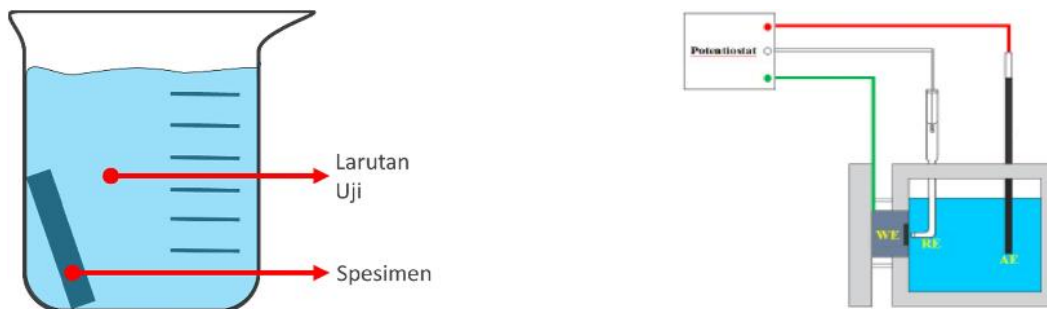
8 November 2017

Perhitungan laju korosi dari pengujian imersi menggunakan rumus sesuai standar ASTM G 5-94 [11] dimana K adalah konstanta (87600), w adalah massa yang hilang, a luas permukaan spesimen, dan t adalah lamanya pengujian.

$$Cr: \frac{K \times W}{\rho \times a \times t} \quad (1)$$

POLARISASI

Preparasi spesimen polarisasi dilakukan dengan memotong semua daerah pengelasan menjadi pelat dengan ukuran 10mm x 10mm dari daerah logam las saja, HAZ saja, logam induk saja, dan gabungan dari seluruh daerah. Kemudian spesimen dilas dengan kawat baja menggunakan metode *spot welding*, lalu di mounting, setelah itu spesimen kemudian di grinding hingga grid 2000. Percobaan polarisasi dilakukan menggunakan reference electrode berupa SCE dan auxiliary electrode berupa grafit. Mesin polarisasi yang digunakan adalah potensiostat VerSTAT 3 dengan pengaturan step time 1s, density(ρ)spesimen 7.85 g/cm³, dan equivalent weight (EW) berupa 27.9225. gambar 2.2 menunjukkan skema pengujian polarisasi yang dilakukan



GAMBAR 2.2 Skema Pengujian. (a) Skema Pengujian Imersi, (b) Skema Pengujian Polarisisasi [12]

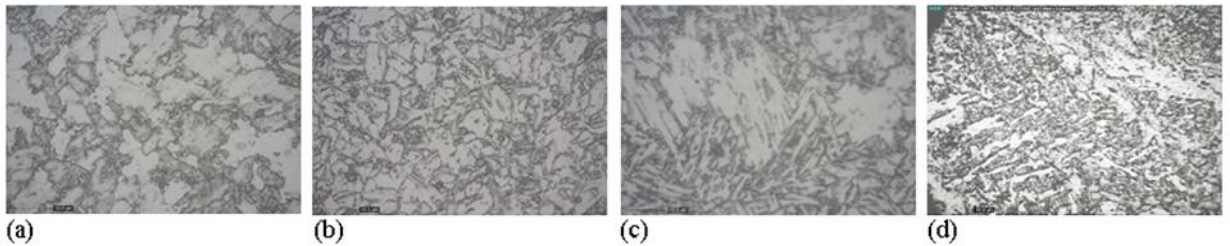
Pengujian polarisasi akan menghasilkan kurva tafel, dari kurva tafel yang ditunjukkan kemudian dilakukan ekstrapolasi untuk mendapatkan nilai I_{corr} dan E_{corr} . Kemudian nilai I_{corr} dimasukkan kedalam persamaan berdasarkan ASTM G 102-89 [13] untuk mendapatkan nilai laju korosi (Cr) dengan konstanta 3.27×10^{-3} .

$$Cr: K \frac{I_{corr} \times EW}{\rho} \quad (2)$$

8 November 2017

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

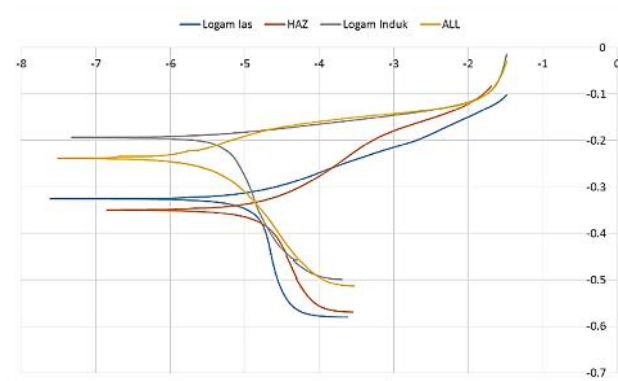
Karena korosi pada pengelasan sangat dipengaruhi oleh struktur mikro maka haruslah diidentifikasi terlebih dahulu struktur mikro dari seluruh spesimen pengujian. Gambar 3.1 menunjukkan struktur mikro dari spesimen logam las, HAZ, dan logam induk.



GAMBAR 3.1 Struktur Mikro Daerah Hasil Pengelasan. (a) Struktur Mikro Logam Induk (b) Struktur Mikro HAZ Butir Kecil (c) Struktur Mikro HAZ Butir Kasar (d) Struktur Mikro Logam Las

3.1 Hasil Polarisasi

Pengujian polarisasi yang dilakukan memberikan hasil berupa kurva tafel. Gambar 3.2 menunjukkan hasil kurva tafel dari pengujian yang dilakukan.



GAMBAR 3.2 Hasil Kurva Tafel Pengujian Polarisasi

Sedangkan Tabel 3.1 dibawah menunjukkan hasil ekstrapolasi yang didapatkan dari hasil pengujian polarisasi

8 November 2017

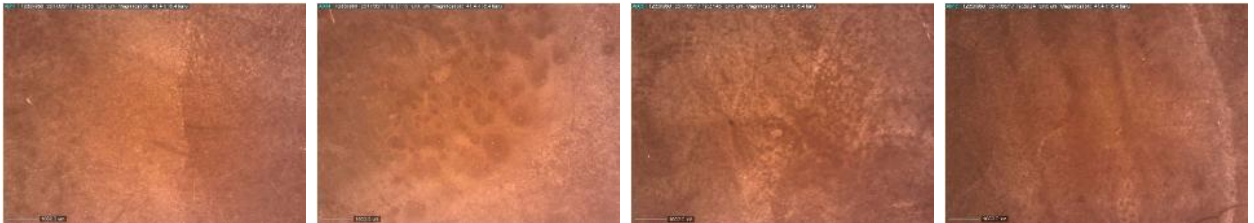
TABEL 3.1 Hasil Ekstrapolasi Pengujian Polarisasi

Spesimen	E _{corr} vs SCE (mV)	I _{corr} (μa/cm ²)	Laju Korosi (mmpy)
ALL	-237,76	-5	0,12
Logam Las	-325,07	-4,88	0,15
HAZ	-348,99	-4,85	0,17
Logam Induk	-193,08	-4,96	0,13

Dari hasil pengujian polarisasi yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan tabel 3.1 menunjukkan bahwa spesimen HAZ memiliki laju korosi yang paling buruk dan potensial korosi (E_{corr} vs SCE) yang paling rendah sehingga merupakan spesimen yang paling cenderung mengalami korosi. Kemudian yang paling buruk kedua adalah logam las, diikuti oleh logam induk, dan yang paling baik ketahanan korosinya dilihat dari nilai laju korosi dan potensial korosinya adalah spesimen ALL.

3.2 Hasil Imersi

Pengujian imersi yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.4 untuk kondisi setelah di imersi selama 7 hari dan dilakukan pickling, kemudian dilihat dibawah mikroskop stereo dengan lensa objektif sebesar 40x.



(a) (b) (c) (d)

GAMBAR 3.4 Kondisi Spesimen Imersi di Mikroskop Stereo. (a) Struktur Daerah Logam ALL (b) Struktur Daerah Logam Induk (c) Struktur Daerah Logam Las (d) Struktur Daerah HAZ

Semua spesimen menunjukkan perubahan warna yang relatif homogen, sehingga korosi yang terjadi pada seluruh spesimen adalah korosi seragam. Tabel 3.2 menunjukkan hasil perhitungan laju korosinya untuk pengujian imersi

8 November 2017

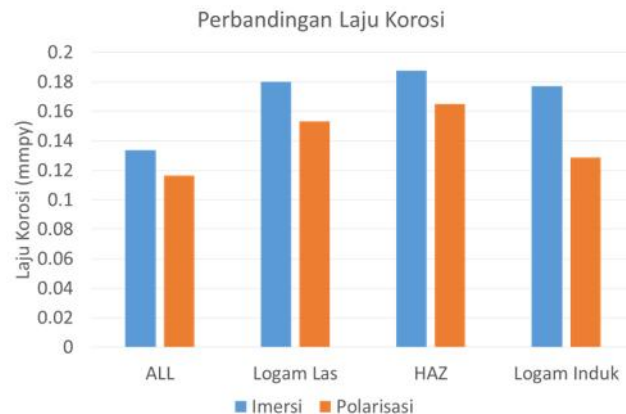
TABEL 3.2 Hasil Pengujian Imersi

Daerah	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Delta Massa (g)	Laju Korosi (mmpy)
ALL	27,8243	27,8015	0,0228	0,1335
Logam Las	9,1274	9,1163	0,0111	0,1802
HAZ	6,0105	6,0024	0,0081	0,1876
Logam Induk	11,8874	11,8764	0,011	0,1771

Hasil pengujian imersi menunjukkan spesimen HAZ mengalami laju korosi yang paling tinggi, kemudian logam las, logam induk, dan spesimen dengan laju korosi yang paling rendah adalah spesimen ALL

3.3 Diskusi

Hasil laju korosi dan pengujian imersi dan polarisasi kemudian digabungkan dalam satu grafik untuk dapat dianalisis kecenderungan untuk semua spesimen dari kedua pengujian. Gambar 3.5 menunjukkan perbandingan laju korosi untuk spesimen pengujian imersi dan polarisasi.



GAMBAR 3.5 Perbandingan Laju Korosi Antara Hasil Pengujian Imersi dan Polarisasi

Gambar 3.5 menunjukkan adanya kesamaan kecenderungan laju korosi yang ditunjukkan oleh pengujian imersi dan polarisasi. Dimana laju korosi yang paling tinggi ditunjukkan oleh spesimen HAZ, kemudian logam las, logam induk, dan laju korosi paling rendah dimiliki oleh spesimen ALL yang merepresentasikan kelakuan dari daerah-daerah tersebut secara bersama.

8 November 2017

HAZ memiliki laju korosi yang paling tinggi dikarenakan struktur mikro yang dimilikinya berbentuk butir yang halus. Butir yang halus merupakan daerah yang paling mudah mengalami korosi. lalu korosi paling tinggi kedua adalah logam las, hal ini juga dikarenakan oleh butir yang dimilikinya cukup halus walaupun tidak sehalus HAZ. Logam induk menjadi yang cukup rentang terhadap korosi karena ukuran butirnya yang cukup besar.

KESIMPULAN

Bila nilai laju korosi di tiap daerah dibandingkan dengan laju korosi di logam induk dalam persen akan didapat bahwa nilai laju korosi yang paling tinggi dimiliki oleh daerah HAZ dimana lebih besar 28,23% pada hasil polarisasi dan 5,93% pada hasil imersi jika dibandingkan logam induk . kemudian laju korosi di daerah logam las lebih parah sebesar 18,9% pada hasil polarisasi dan 1,75% pada hasil imersi jika dibandingkan logam induk. Sedangkan pada spesimen ALL laju korosinya lebih rendah dibandingkan logam induk sebesar 9,5% untuk hasil polarisasi dan sebesar 24,62% untuk hasil imersi. Sehingga bila diurutkan berdasarkan laju korosi maka laju korosi yang paling parah adalah milik spesimen HAZ, kemudian logam las, lalu logam induk, dan laju korosi yang paling rendah adalah milik spesimen ALL baik pada pengujian imersi maupun polarisasi. Bila dilihat nilai potensial korosinya dari pengujian polarisasi maka nilai potensial korosi HAZ adalah yang paling rendah yakni sebesar -348,99 mV, kemudian logam las sebesar -325,07 mV, kemudian spesimen ALL sebesar -237,76 dan logam induk sebesar -193,08 mV. Bila dilihat dari pengujian imersi yang dilakukan maka terlihat bahwa korosi yang terjadi pada semua spesimen adalah korosi seragam. Dengan demikian maka data kuantitatif mengenai perbedaan ketahanan korosi ini dapat dihasilkan dari percobaan ini yang sebelumnya sangat sukar untuk ditemukan dalam berbagai literatur.

8 November 2017

REFERENSI

1. M. L. Nayyar, Piping Handbook, United States of America: McGraw-Hill, 2000.
2. P. D. I. H. Wiryosumarto dan P. D. T. Okumura, Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
3. H. Sonawan dan R. Suratman, Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam, Bandung: CV Alfabeta, 2004.
4. S. Kalpakjian dan S. R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, Singapore: Prentice Hall, 2009.
5. M. G. Fontana, Corrosion Engineering, Singapore: McGraw-Hill Book, 1987.
6. W. D. Callister dan R. David G, Materials Science and Engineering an Introduction, America: John Wiley & Sons, 2009.
7. A. Zaki, Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control, UK: Oxford, 2006.
8. J. Davis, Corrosion of Weldments, USA America: ASM International, 2006.
9. K. Ralston, N. Birbilis dan C. Davies, "Revealing the relationship between grain size and corrosion," no. 63, pp. 1201-1204, 2010.
10. I. Pratiwi, Studi Pengaruh CO₂ dan Asam Asetat (HAc) Pada Korosi Baja API 5L X65 dalam Lingkungan NaCl, Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2016.
11. G 5-94 Standar Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, ASTM International, 1999.
12. H. Mulyana, "Pengaruh Waktu Aging Terhadap Ketahanan Korosi Baja Tahan Karat Super Duplex SAF 2507 dengan Metode Polarisasi," Bandung, 2017.
13. ASTM G 102-89 Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements, ASTM International, 1999.

Studi Pengaruh Lingkungan Korosif CO₂ Terhadap Perilaku Ketahanan Lelah Untuk Material Baja Karbon Rendah Pada Temperatur Kamar Dan Kondisi Terbuka

Bambang Widyanto^{1,A)}, & Dery Kurniawan^{2,B)}

^{1,2} *Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

a) Bambwid@cbn.net.id b) Kurniawan.dery137@gmail.com

Abstract.

Corrosion due to CO₂ is a common problem in oil and gas transportation systems. The presence of CO₂ gas is will not be a problem if it's not dissolves in water. However, in practice it's often found the presence of CO₂ dissolved in water and reacts to form H₂CO₃ which can trigger a corrosion reaction in the material for oil and gas transport system. In this research, we conducted a study of the effect of CO₂ dissolved in water on fatigue resistance behavior for low carbon steel material at room temperature and open conditions. Using a low carbon steel material, the test is carried out at a maximum stress value of 259 MPa, 294 MPa, 331 MPa, 365 MPa, and 394 MPa to study the value of fatigue life material while in laboratory environment and CO₂ environment. Study of the environmental influence on endurance limit values on the material was done using maximum stress value of 200 MPa, 195 MPa, and 190 MPa in laboratory environment and 190 MPa, 170 MPa, and 150 MPa in environment containing dissolved CO₂. The results of the test are shown in the S-N curve and photo fractography observed using stereo and SEM microscopes. Characterization was performed using EDS to identify and predict the corrosion product formed on the fracture surface of the material. The results of the test show a decrease in both of fatigue life and endurance limit values of low carbon steel material when tested in an environment containing CO₂ dissolved in water. Fractographic results also show that the fracture surfaces of specimens tested on the CO₂ environment will be partially covered by corrosion products.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Fenomena lelah merupakan fenomena kegagalan yang terjadi apabila material logam mengalami tegangan yang berulang atau berfluktuasi meskipun dengan nilai tegangan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai tegangan yang dibutuhkan untuk membuat material tersebut patah pada pembebanan statik (σ_{uts}) atau juga ketika nilai tegangan yang diberikan berada dibawah nilai kekuatan luluh statiknya (σ_y).[1] Fenomena kegagalan lelah sudah teramati pada abad 19 dan untuk pertama kalinya pada saat itu dilaksanakan investigasi terkait dengan fenomena lelah pada material. Selama waktu berjalan, kegagalan akibat fenomena lelah sudah teramati pada berbagai kasus seperti yang terjadi pada komponen-komponen otomotif, struktur bangunan, struktur yang dilas, komponen pesawat terbang, dan kasus-kasus yang lainnya. [2]

Komponen yang mengalami lelah tidak memberikan tanda-tanda bahwa komponen tersebut sedang mengalami tahap-tahap dalam fenomena lelah. Hal tersebut membuat terkadang terjadi kegagalan yang secara tiba-tiba dan tidak diprediksikan sebelumnya sehingga dapat menyebabkan kerugian baik secara finansial ataupun korban jiwa.[2] Fenomena kegagalan akibat lelah sendiri diketahui hanya akan terjadi setelah melewati jangka waktu tertentu sehingga penelitian terhadap fenomena lelah banyak dilakukan untuk mendapatkan jumlah waktu yang dibutuhkan hingga material patah sebagai dasar untuk pencegahan terjadinya kegagalan akibat lelah.

Jangka waktu yang dibutuhkan material untuk mengalami kegagalan akibat lelah atau disebut juga sebagai *fatigue life* tersebut dapat berkurang dari seharusnya pada kondisi-kondisi tertentu. Salah satu kondisi yang menyebabkan berkurangnya nilai *fatigue life* dari suatu material logam adalah ketika penggunaan material tersebut dilakukan pada lingkungan yang korosif. Pada lingkungan yang agresif tersebut akan terjadi percepatan dalam munculnya retakan awal sehingga mengurangi *fatigue life* dari suatu material.

Salah satu komponen yang memiliki resiko mengalami penurunan nilai *fatigue life* akibat berada pada lingkungan yang agresif adalah pipa pengalir minyak dan gas. Seperti yang diketahui bahwa terkadang salah satu kandungan minyak dan gas yang diambil dari dalam perut bumi adalah gas CO₂ dan air.

8 November 2017

Pada dasarnya keberadaan CO₂ tidaklah berbahaya namun ketika CO₂ tersebut larut dalam air dapat menimbulkan lingkungan yang korosif. Dengan mempertimbangkan kondisi diatas, maka pada penelitian kali ini akan dilakukan pengujian lelah pada lingkungan yang korosif pada material baja karbon rendah yang merupakan material yang umum digunakan sebagai komponen pipa. Lingkungan yang disimulasikan adalah lingkungan CO₂ yang terlarut dalam air.

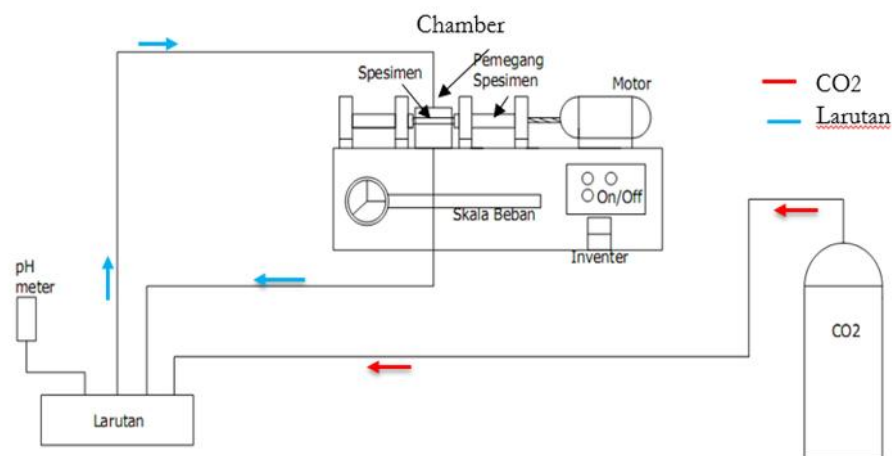
2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Baja Karbon Rendah AISI 1018

2.2 Metode

Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan jenis pengujian *rotary bending fatigue* serta pengamatan fisik patahan dengan menggunakan SEM dan EDS. Spesimen yang digunakan pada penelitian ini dibuat menyesuaikan dengan standar ASTM E-466 tentang pengujian lelah. Pengujian lelah dilakukan pada lingkungan atmosfer biasa dan lingkungan CO₂ terlarut. Pengujian pada lingkungan CO₂ terlarut digambarkan dalam skema pada gambar 1, dimana gas CO₂ dialirkan kedalam *chamber* larutan yang berisi air demineralisasi lalu larutan CO₂ terlarut dialirkan menuju *chamber* pengujian. Selama pengujian pH berada pada rentang 4,5 – 5,5.

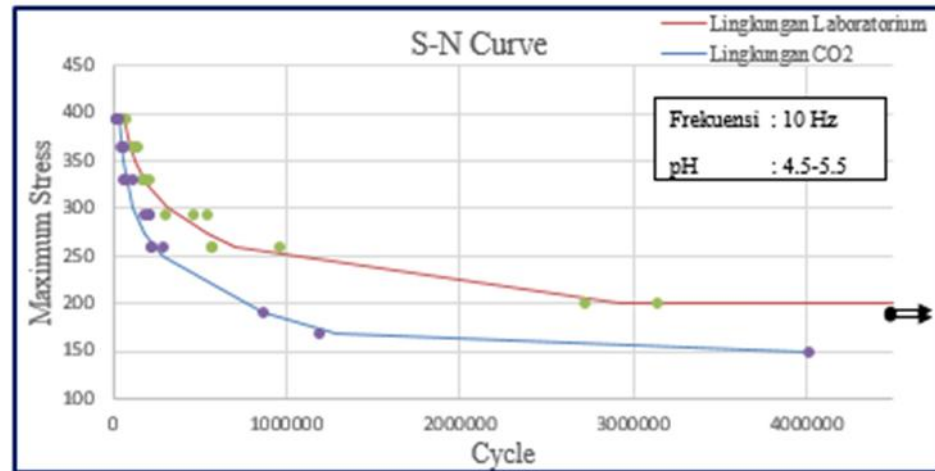


GAMBAR 1. Skema pengujian korosi lelah

8 November 2017

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Lelah



GAMBAR 2. Kurva S-N hasil penelitian di lingkungan laboratorium (atmosfir biasa) dan lingkungan CO₂

Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara nilai pembebanan dengan jumlah siklus yang dibutuhkan spesimen untuk patah. Dengan nilai tegangan yang semakin tinggi maka akan didapat umur lelah yang semakin pendek. Fenomena tersebut dapat terjadi dikarenakan semakin tinggi nilai pembebanan yang diberikan maka waktu yang diperlukan untuk merambatkan retakan akan semakin singkat yang dimana hal tersebut disebabkan oleh adanya hubungan yang berbanding lurus antara besarnya tegangan yang dialami, *stress intensity factor range* (ΔK), dan laju perambatan retak. Hubungan antara *stress intensity factor range* (ΔK), besar tegangan, dan laju perambatan retak dapat dilihat pada persamaan berikut [3] :

$$\Delta K = \Delta \sigma Y \sqrt{\pi a} \quad (1)$$

$$\frac{da}{dN} = A (\Delta K)^m \quad (2)$$

Dengan ;

ΔK : *Intensity Factor Range*

$\Delta \sigma$: *Stress Range*

Y : Fungsi dari Geometri Retak

a : Dimensi Retak

8 November 2017

$\frac{da}{dN}$: Laju Perambatan Retak

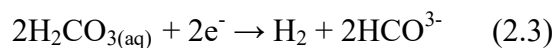
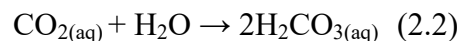
A,m : Konstanta dari Material

Jika melihat persamaan (1) dan (2) maka dapat diketahui bahwa ketika nilai tegangan yang dialami oleh material meningkat, nilai *instensity factor range* pada material akan ikut meningkat sehingga membuat laju perambatan retak pada material tersebut akan menjadi lebih cepat. Hal tersebut akan berdampak pada semakin pendeknya jumlah siklus yang dibutuhkan material untuk mengalami patah final.

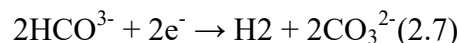
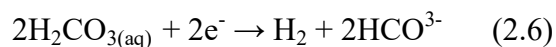
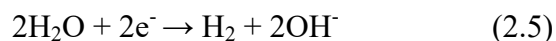
Gambar 2 juga menunjukkan adanya penurunan nilai *endurance limit* sebesar 25% dan juga penurunan umur lelah pada material ketika dilakukan pengujian pada lingkungan yang mengandung CO₂ terlarut jika dibandingkan dengan pengujian yang dilakukan pada lingkungan atmosfer biasa. Penurunan umur lelah dari material ini dapat dijelaskan karena adanya peran dari CO₂ yang bereaksi dengan air dan menjadi asam yang dapat membuat spesimen mengalami korosi dimana hal ini ditunjukkan dengan pH yang berada pada rentang 4,5 – 5,5.

Pada permukaan spesimen yang mengalami kontak dengan lingkungan akan muncul sel elektrokimia dimana reaksi-reaksi yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut :

Pada Larutan :



Pada Katoda :



Pada Anoda :

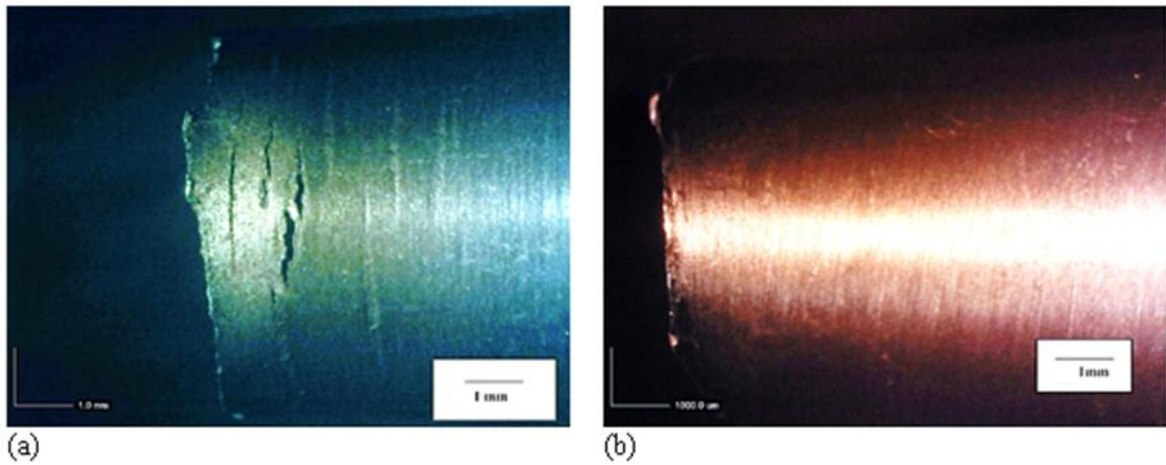


Reaksi-reaksi tersebut dapat mengakibatkan adanya pelarutan besi menjadi ion positifnya pada anoda. Korosi yang terjadi akan membuat kerusakan permukaan spesimen dan bertindak sebagai *notch* yang membuat turunnya umur lelah pada material.

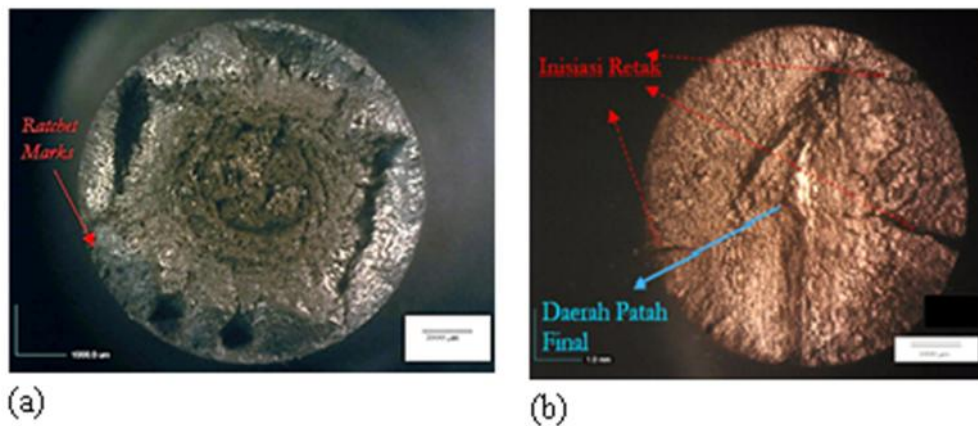
8 November 2017

Kerusakan pada permukaan material akibat lingkungan korosif CO₂ ini menyebabkan mudahnya material mengalami retak dalam tahap inisiasi retaknya.

Hal tersebut dibuktikan dengan munculnya *secondary crack* dan *ratchet marks* pada permukaan patahan spesimen yang dilakukan pengujian pada lingkungan korosif CO₂, sementara pengujian pada lingkungan atmosfer biasa tidak menunjukkan fenomena tersebut. Hal ini diperlihatkan pada gambar 3 dan gambar 4;



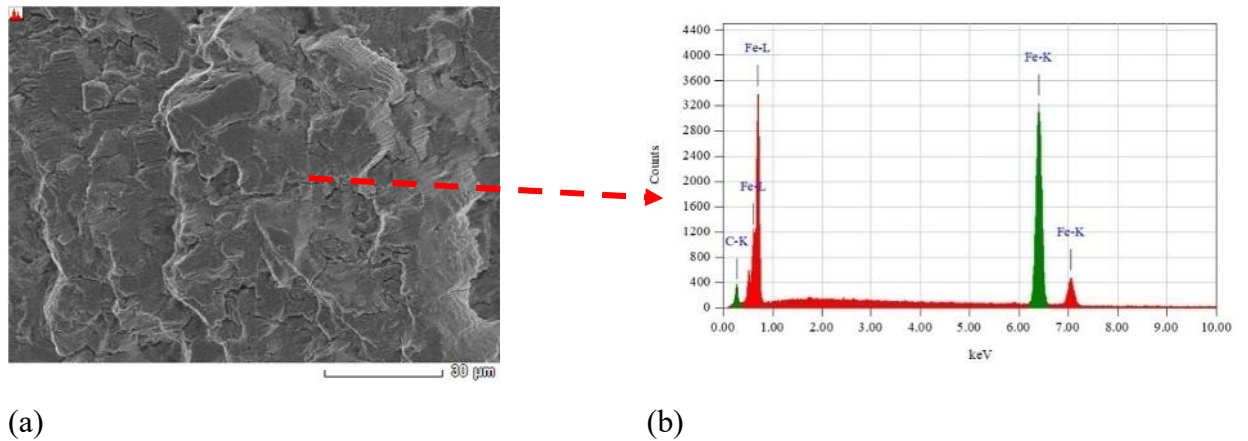
GAMBAR 3.(a) Penampakan *secondary crack* pada spesimen yang diuji pada lingkungan korosif CO₂, (b) *Secondary crack* tidak tampak pada spesimen yang diuji pada lingkungan atmosfer biasa (Laboratorium).



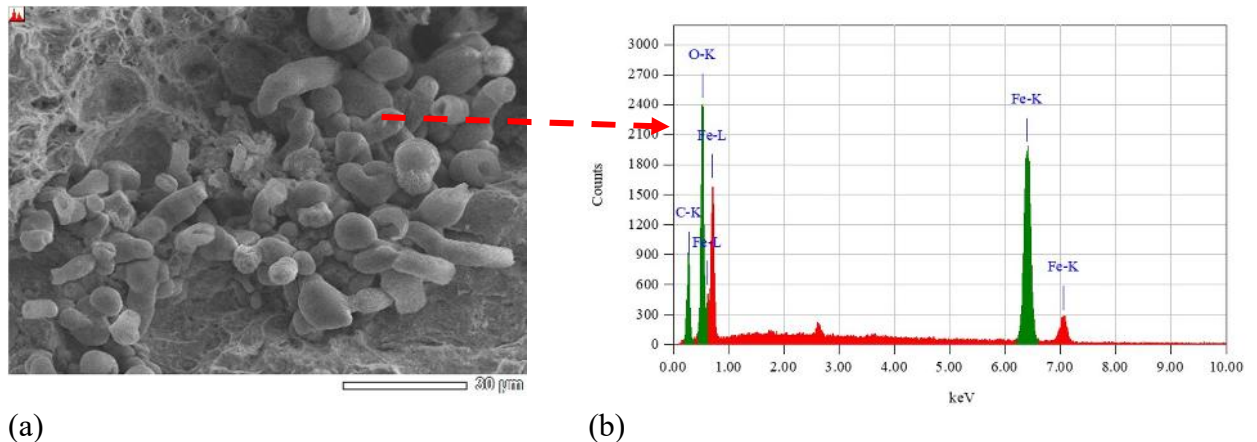
GAMBAR 4.Penampakan *ratchet marks* pada spesimen yang dilakukan pengujian pada (a) Lingkungan Korosif CO₂, (b) Lingkungan Atmosfir Biasa (Laboratorium).

8 November 2017

3.2. Hasil Karakterisasi SEM & EDS



GAMBAR 5.(a) Hasil SEM , (b) Hasil EDS, Pada spesimen yang dilakukan pengujian pada lingkungan atmosfer biasa.



GAMBAR 6.(a) Hasil SEM , (b) Hasil EDS, Pada spesimen yang dilakukan pengujian pada lingkungan korosif CO₂.

Hasil karakterisasi permukaan patahan dengan menggunakan SEM & EDS menunjukkan bahwa pengujian yang dilakukan pada lingkungan korosif CO₂ akan memiliki permukaan yang tertutup produk korosi. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya unsur oksigen (O) yang muncul pada hasil EDS yang dilakukan pada permukaan spesimen yang dilakukan pengujian di lingkungan korosif CO₂ sementara pada permukaan spesimen yang dilakukan pengujian pada lingkungan atmosfer biasa tidak ditemukan adanya unsur tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa lingkungan yang didalamnya terdapat CO₂ terlarut dapat mempengaruhi nilai umur lelah dari material baja karbon rendah yang ditunjukkan dengan adanya penurunan umur lelah pada material yang dilakukan pengujian pada lingkungan CO₂ terlarut. Selain itu, keberadaan CO₂ terlarut juga menyebabkan turunnya *endurance limit* dari material sebesar 25%. Keberadaan CO₂ terlarut juga memudahkan terjadinya inisiasi retak pada material yang ditunjukkan dengan adanya *ratchet marks* dan *secondary crack* pada permukaan material.

REFERENSI

- [1] G. E. Dieter, Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, 1988.
- [2] J. Schijve, Fatigue of Structures and Materials, Delft: Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [3] J. M. Barsom, Fracture and Fatigue Control in Structure : Application of Fracture Mechanics, Butterworth-Heinemann, 2000.

Pengaruh Variasi Temperatur Post-Weld Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro Dan Distribusi Kekerasan Pada Proses Pengelasan GTAW Baja Karbon Tinggi Dengan Filler Metal ER308

Muhammad Fidel Adriana^{1,A)}, & Rochim Suratman^{1,B)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik^{B)} Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

^{a)}*fideladriana@students.itb.ac.id*

^{b)}*rochim@material.itb.ac.id*

Abstract.

Welding is a process to join two materials. Usually, filler metal used in welding process has same mechanical characteristics with the materials that are going to be joined. In this research, a filler metal with different characteristics is used. Two high carbon steel (0.76 wt% C) bar is joined by GTAW methods with ER308 as filler metals, which is stainless steel. The welding process used Argon as shielding gas and single V-butt as joint design. This joint then chopped into four specimen and tempered with three variation; 400°C, 500°C, and 600°C, for 45 minutes. Next, a metallography is conducted to observe the microstructure of base metal, heat affected zone, and weld metal areas. The results shows that the microstructure of HAZ consist martensite and retained austenite. As the tempering temperature goes higher, the retained austenites are transformed into martensite, and the martensites are transformed into tempered martensite. The microstructure also shows that a dark band was formed in fusion line. The dark band consist of carbide precipitation of chromium. Then, a hardness test was conducted along the specimen. The results shows that the hardness of base metal are declining as the temperature went higher, but the hardness of the weld metal are raising. This was caused by carbon diffusion from base metal to weld metal.

1. PENDAHULUAN

Proses pengelasan (*welding*) adalah proses penyambungan material dengan memanfaatkan pelelehan material dalam prosesnya. Proses pengelasan biasa dilakukan dalam tahap *finishing* yaitu dalam proses *assembly*. Namun proses pengelasan juga dapat dilakukan dalam tahap perbaikan (*repairing*) yaitu untuk melapisi komponen dengan lapisan keras, atau untuk mempertebal komponen yang sudah aus.

Logam las yang digunakan dalam pengelasan dapat ditentukan sesuai dengan tujuan dari pengelasan. Umumnya pengelasan menggunakan logam las yang mirip dengan logam induk (*base metal*) [1]. Hal ini bertujuan supaya sifat mekanik dari logam las dan logam induk tidak jauh berbeda. Sifat mekanik yang berbeda berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan yang akan memicu terjadinya retak. Namun dalam penelitian ini, logam las yang digunakan berbeda dengan logam induknya untuk mengamati fenomena yang akan terjadi pada daerah sambungan.

Dalam pengelasan dikenal juga proses PWHT (*Post-Weld Heat Treatment*), yaitu proses perlakuan panas yang diberikan kepada benda kerja hasil pengelasan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanik dari hasil pengelasan tersebut. Perlakuan panas juga dapat menghilangkan tegangan sisa dan meminimalisir segregasi yang terjadi. Hasil pengelasan dengan logam las dan logam induk yang berbeda berpotensi mengalami segregasi dan memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Sifat mekanik yang kurang baik disebabkan karena pertemuan antara dua material dengan struktur yang berbeda. Sifat mekanik diperbaiki melalui perubahan struktur mikro yang terjadi ketika perlakuan panas diberikan kepada benda kerja. Pada penelitian ini, temperatur perlakuan panas akan divariasikan untuk mengamati pengaruh temperatur perlakuan panas terhadap daerah sambungan baja karbon tinggi yang disambung dengan logam pengisi baja tahan karat.

Pada penelitian ini, baja yang digunakan sebagai logam induk adalah baja karbon tinggi dengan kandungan karbon sebesar 0.7% sementara logam las yang digunakan adalah ER308 yang merupakan baja tahan karat SS308L. Proses pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses pengelasan GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Proses pengelasan GTAW memiliki keunggulan yaitu mengurangi potensi terjadinya oksidasi pada proses pengelasan. Temperatur yang diberikan untuk PWHT pada penelitian ini adalah 400°C, 500°C dan 600°C.

8 November 2017

Dari variasi temperatur PWHT, akan diteliti pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur mikro dari logam las, logam induk, dan daerah HAZ.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

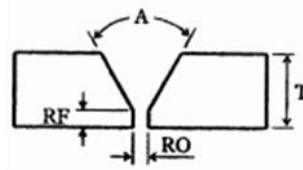
Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon tinggi yang diambil dari komponen rel kereta (*tee rails*). Komposisi kimia dari logam induk dapat diketahui dengan karakterisasi *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Baja karbon tinggi kemudian akan dilas dengan logam pengisi ER308 yang merupakan stainless steel. Komposisi kimia dari logam pengisi dapat diketahui dari kemasan logam pengisi. Komposisi kimia dari logam pengisi dan logam induk adalah:

TABLE 1 Komposisi Kimia Spesimen

Logam	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
Induk	0.758	0.173	1.027	0.015	0.009	0.17	0.005
Pengisi	0.08 max	0.03 max	1.0-2.5	0.03 max	0.03 max	19.5-22.0	0.75 max

2.2 Metode

Spesimen dipotong dari *tee rails* sehingga membentuk batangan-batangan baja karbon tinggi. Setelah itu, batangan tersebut diberi proses pemesinan sehingga dimensinya memenuhi sketsa dan spesifikasi kumpuh berikut:



GAMBAR 1 Desain Sambungan

8 November 2017

TABLE 2 Spesifikasi Sambungan

Jenis	V-Butt Single Joint
<i>Groove Angle (A)</i>	60°
<i>Root Face (RF)</i>	2 mm
<i>Root Opening (RO)</i>	1 mm
Tebal Spesimen (T)	10 mm
Panjang Spesimen	90 mm

Setelah kampuh dibuat, spesimen disambung dengan menggunakan metode pengelasan GTAW dengan filler metal ER308. Logam pengisi yang digunakan adalah ER-308 dengan diameter 2.4 mm. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon 96%. Pengelasan dilakukan dengan tegangan 14V dan arus sekitar 126A.



Gambar 2 Hasil Penyambungan Spesimen

Setelah disambung dengan proses pengelasan, spesimen dipotong lagi menjadi empat potong. Tiga potongan spesimen ini akan diberi perlakuan panas dengan temperatur yang bervariasi sementara satu potongan tidak diberi perlakuan panas. Temperatur yang diberikan pada proses PWHT adalah 400C, 500C, dan 600C. Seluruh proses perlakuan panas dilakukan dengan *holding time* selama 1 jam.

Setelah seluruh proses perlakuan diberikan, spesimen dikarakterisasi dengan metalografi dan uji keras. Metalografi dilakukan dari tahap *mounting*, *grinding*, *polishing*, hingga *etching*. Etsa yang digunakan adalah nital 4% untuk mengamati struktur mikro logam induk, dan *aqua regia* untuk mengamati struktur mikro logam las. Struktur mikro diamati pada logam las, logam induk, dan daerah HAZ. Setelah dikarakterisasi dengan metalografi, spesimen juga diuji keras dengan pengujian keras microvickers. Uji keras dilakukan di beberapa titik pada satu spesimen. Indentasi dilakukan setiap 5mm dari logam induk hingga ke logam las.

8 November 2017

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Metalografi

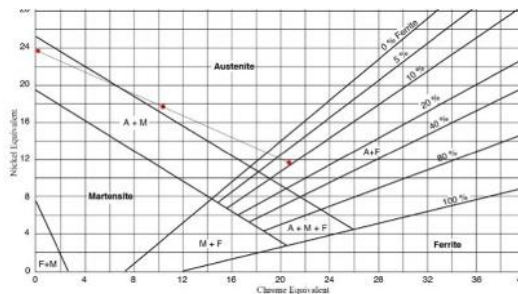
3.1.1 Weld Metal

Logam pengisi yang digunakan pada penelitian ini adalah ER308 yang merupakan baja tahan karat. Fasa yang terkandung pada logam las baja tahan karat dapat diprediksi dengan diagram Schaeffler. Untuk menentukan fasa dari diagram schaffler, perlu diketahui *chrome equivalent* dan *nickel equivalent* dari spesimen, baik logam las maupun logam induk. Untuk menentukan *chrome equivalent* dan *nickel equivalent* dari spesimen, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb \quad (1)$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30x\%C + 0.5x\%Mn \quad (2)$$

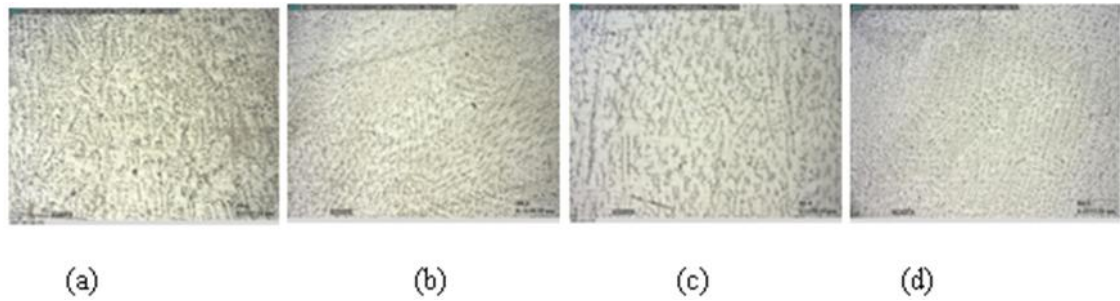
Berdasarkan hasil pemeriksaan OES logam induk dan standar komposisi logam pengisi, maka krom ekivalen dan nikel ekivalen dapat ditentukan. Dari hasil perhitungan, Cr_{eq} logam pengisi sebesar 20.58%, Cr_{eq} logam induk sebesar 0.22%; Ni_{eq} logam pengisi sebesar 11.75% dan Ni_{eq} logam induk sebesar 23.2%. Apabila diplot di diagram schaeffler maka akan didapatkan bahwa fasa yang terdapat pada daerah lasan adalah austenit.



Gambar 2 Diagram Schaeffler

Berbeda dengan struktur logam induk, struktur mikro logam las cenderung menyerupai struktur dari logam hasil pengecoran. Struktur dendritik dan *equaxial* nampak terlihat di struktur mikro logam las. Kedua struktur tersebut adalah struktur yang wajar terlihat pada logam yang membeku.

8 November 2017



Gambar 3 Hasil pengamatan struktur mikro logam las a) Tanpa perlakuan panas b)PWHT 400°C
c)PWHT 500°C d)PWHT 600°C

Struktur dendritik terjadi karena pendinginan pada logam las terjadi relatif cepat. Arah pembentukan struktur dendrit akan berlawanan dengan arah aliran panas. Pada proses pembekuan, inti akan tumbuh dengan cepat ketika laju aliran panas berlangsung cepat menurut arah kristalografi tertentu, sehingga menghasilkan struktur lamelar dengan cabang-cabang kecil yang disebut dendrit. [2]

3.1.2 HAZ

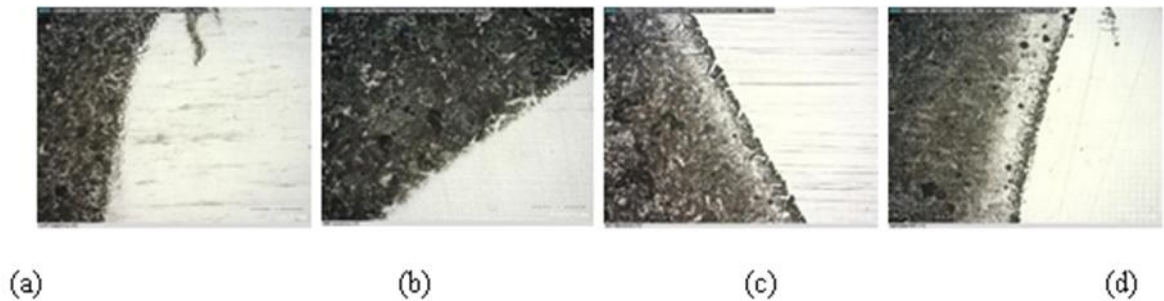
Dari hasil pengamatan struktur mikro HAZ, tampak ada perbedaan dengan logam induk. Berbeda dengan logam induknya yang memiliki struktur perlit, daerah HAZ memiliki struktur martensit dan austenit sisa. Perbedaan ini disebabkan daerah HAZ terkena pengaruh panas dari partial melted zone. Karena temperaturnya mencapai temperatur austenisasi, dan dilanjutkan pendinginan yang relatif cepat, daerah tersebut pun memiliki struktur martensit dan austenit sisa. Kehadiran kedua fasa ini menghasilkan daerah HAZ dengan nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada logam las.

Perlakuan panas yang diberikan juga memberikan perubahan struktur mikro dari daerah HAZ. Daerah HAZ yang tidak diberi perlakuan panas tampak memiliki banyak austenit sisa, sehingga struktur mikronya terlihat lebih putih daripada struktur mikro daerah HAZ yang diberi perlakuan panas. Karena diberi perlakuan panas, austenit sisa bertransformasi menjadi martensit sehingga struktur mikronya lebih gelap.

Diantara daerah HAZ dan logam las, terdapat daerah perbatasan yang disebut fusion line, yang juga mengalami perubahan seiring meningkatnya temperatur PWHT.

8 November 2017

Perubahan yang paling terlihat adalah adanya retak pada daerah fusion line. Retak ini dipicu oleh pembebasan tegangan sisa yang terjadi ketika spesimen dipanaskan. Dapat diperhatikan pada gambar 4.11, semakin tinggi temperatur PWHT, semakin terlihat jelas adanya daerah hitam diantara logam las dan HAZ. Daerah ini disebut *Dark Band*. [3]



Gambar 4 Struktur Mikro fusion line a) Tanpa PWHT b)PWHT 400 c) PWHT 500 d) PWHT600

Logam induk memiliki kadar karbon yang jauh berbeda dari logam las nya yang berupa stainless steel. Adanya perbedaan komposisi yang besar ini memicu terjadinya migrasi karbon dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Migrasi karbon inilah yang mengubah kekerasan dari material dan memunculkan adanya dark band.

Dark band yang dihasilkan pada daerah dilusi antara baja karbon tinggi dengan logam las stainless steel 308 merupakan presipitasi karbida di sepanjang batas fusi. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa dark band hanya terbentuk pada spesimen yang dipanaskan pada temperatur 500C dan 600C. Hal ini disebabkan oleh tingginya temperatur PWHT yang memicu terjadinya migrasi karbon secara difusi. Karbon akan lebih mudah berdifusi pada temperatur tinggi. Temperatur tinggi menyediakan energi yang cukup sebagai *driving force* bagi karbon untuk berdifusi. Difusi berlangsung dari daerah dengan konsentrasi tinggi menuju daerah dengan konsentrasi rendah. Karena logam las merupakan stainless steel yang memiliki kadar karbon yang lebih rendah, maka karbon dari daerah HAZ berdifusi ke logam las.

Bermigrasinya karbon setelah diberi perlakuan panas, menimbulkan adanya daerah kaya karbon (*carbon enriched zone*) dan daerah miskin karbon (*carbon depleted zone*). Daerah yang ditinggalkan karbon akan bertransformasi menjadi struktur ferit.

8 November 2017

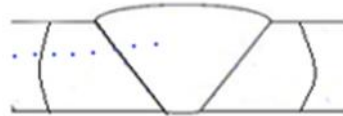
Hal tersebut dibuktikan oleh mikrostruktur dari gambar 4 yang menunjukkan adanya daerah terang diantara *darkband* dan lapisan martensit di daerah HAZ.

3.2 Uji Keras

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode microvickers. Titik uji yang diambil dilakukan setiap rentang 5 mm, dimulai dari logam induk hingga ke logam las. Hasil uji keras yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 3.

TABLE 3 Hasil Uji Keras Microvickers

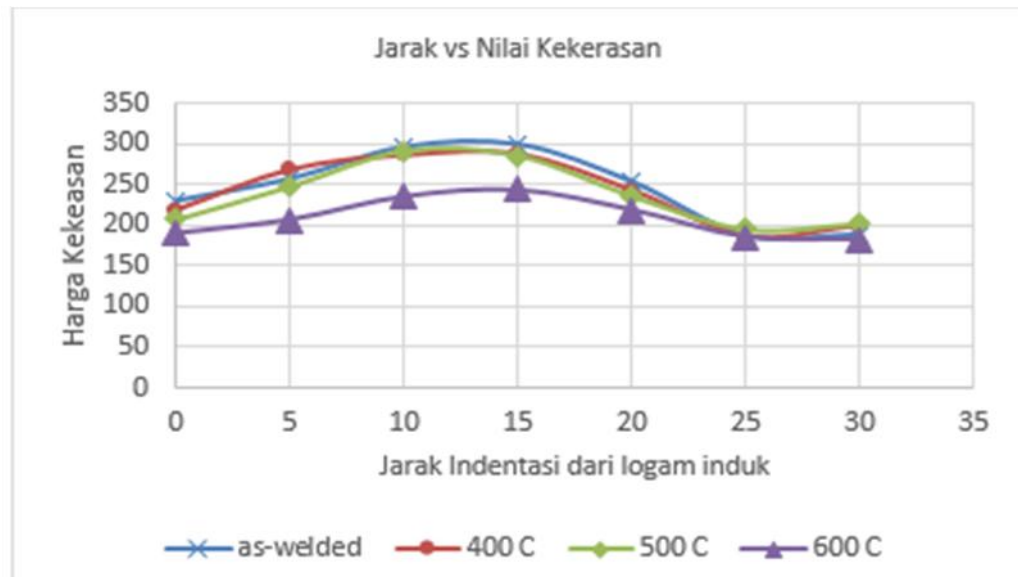
Jarak	Daerah Indentasi	HargaKekerasan (HV)			
		As-Welded	400 C	500 C	600 C
0	BM	229	218	207	189
5	BM	256	268	247	206
10	HAZ	295	286	290	235
15	HAZ	298	287	284	243
20	HAZ	252	242	235	218
25	FL	286	185	195	184
30	WM	188	199	202	181



GAMBAR 5 Titik-titik uji yang dilakukan

Karena indentasi dilakukan pada rentang 5 mm, ketiga daerah pengelasan (logam las, logam induk, dan HAZ) telah teruji. Pada jarak 15 mm, pengujian telah memasuki daerah HAZ dan pada jarak 25 mm, pengujian telah memasuki daerah logam las. Apabila data dari tabel 3 diplot dalam grafik maka akan menghasilkan grafik pada gambar 6.

8 November 2017



Gambar 6 Grafik hasil pengujian kekerasan microvickers

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai kekerasan dari logam induk dengan logam las relative jauh. Hal ini akan berbahaya bagi sambungan karena berpotensi menimbulkan retak. Perbedaan kekuatan mekanik akan menimbulkan konsentrasi tegangan sehingga resiko kegagalan semakin besar.

Penurunan kekerasan logam induk terlihat seiring meningkatnya temperatur PWHT. Namun apabila ditinjau dari struktur mikronya, tidak ada perubahan signifikan dari keempat spesimen. Penurunan kekerasan dapat disebabkan oleh adanya pembebasan tegangan sisa. Tegangan sisa yang muncul akibat pengelasan dapat meningkatkan kekerasan dari logam induk. Dengan memberikan perlakuan panas, kekerasan akan menurun.

Dari hasil pengujian juga dapat dilihat bahwa kekerasan dari logam las semakin meningkat seiring dengan semakin tingginya temperatur PWHT. Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena perpindahan karbon. Karena karbon berdifusi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, maka logam las akan mengalami penambahan karbon dari daerah HAZ. Adanya penambahan kadar karbon akan meningkatkan kekerasan dari logam las. [3]

4. KESIMPULAN

Bila struktur mikro dari keempat spesimen dibandingkan, dapat terlihat jelas adanya perbedaan struktur mikro dari spesimen yang diberi perlakuan berbeda. Perbedaan yang signifikan terlihat pada daerah *Heat Affected Zone* dan *fusion line*.

Semakin tinggi temperatur PWHT yang diberikan, semakin terlihat adanya *dark band* pada *fusion line*. Berbeda dengan spesimen yang tidak diberi PWHT, spesimen yang diberi PWHT pada temperatur 600°C menunjukkan adanya *carbon depleted zone* dan *darkband*. Fenomena ini disebabkan adanya migrasi karbon yang dipicu oleh temperatur tinggi.

Bila hasil uji keras dari keempat spesimen dibandingkan, maka terlihat adanya perubahan nilai kekerasan seiring semakin meningkatnya temperatur PWHT. Nilai kekerasan dari logam las semakin meningkat seiring meningkatnya temperatur sementara nilai kekerasan logam induk menurun. Perubahan dari nilai kekerasan disebabkan meningkatnya kadar karbon pada logam las dan menurunnya kadar karbon pada logam induk.

REFERENCES

- [1] R. Suratman and H. Sonawan, Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam, Bandung: Alfabeta, 2004.
- [2] S. Kou, Welding Metallurgy: 2nd edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [3] D. Lundin, "Dissimilar Metal Welds," Transition Joints Literature Review, 1982.
- [4] F. Mas, C. Tassin, N. Valle, F. Robaut, F. Charlotte, M. Yescas, F. Roch, P. Todeschini and Y. Brechet, "Metallurgical characterization of coupled carbon diffusion," Journal of Material Science, vol. 51, no. 10, pp. 4864-4879, 2016.

Karakterisasi Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru Dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Diameter 1.4 Mm Satu Arah Berfraksi Volume 2.5, 5.0, Dan 7.5 %

Hesti Ibrahim¹, Irene Angela¹, & Bondan Tiara Sofyan^{1,A)}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424.

^{a)}*bondan@eng.ui.ac.id*

Abstract.

Reinforced aluminium based composites have been extensively used in military sector for their capability to withstand penetration. In this research, ballistic properties of AA5083 Al-based composites with 2.5, 5.0, and 7.5 vol. % high carbon steel wire reinforcement attached using polyurethane adhesive was studied. Characterization was done through tensile testing, Charpy impact testing, ballistic testing, and visual inspection. Penetration in ballistic testing was performed using 7.62 and 9 mm bullet shot by SPR-1 gun. Fracture events were observed using high resolution camera. Results showed that higher toughness was achieved with higher volume fraction of reinforcement. Highest impact value and elastic modulus of 0.68 J/mm² and 39.2 GPa, respectively, were obtained from sample with 7.5 vol. % steel wire. Visual inspection on fracture areas signified that voids were present in the samples, indicating poor functionality of the polyurethane adhesive. (*Keywords: composites, aluminium, ballistic, reinforcement, volume fraction, steel wire*).

1. PENDAHULUAN

Material komposit kerap dimanfaatkan dewasa ini untuk berbagai aplikasi di bidang pertahanan dikarenakan sifat mekanisnya yang tinggi dan kemampuannya menyerap energi dengan berat jenis yang dapat dirancang sehingga lebih minim dibandingkan dengan pelat logam tahan peluru konvensional [1]. Baja merupakan bahan dasar panel anti peluru yang umum ditemukan.

8 November 2017

Namun terdapat kekurangan dari penggunaan material baja sebagai bahan dasar panel anti peluru dari segi densitasnya yang tinggi sehingga baja tidak cocok untuk bahan dasar produksi armor ringan [2]. Komposit dengan matriks aluminium merupakan salah satu contoh bahan alternatif yang banyak dikembangkan menimbang massa jenis matriks Al yang rendah.

Bahan komposit berbasis Al memiliki kelebihan signifikan dibanding paduan Al dalam hal kekuatan dan kekakuan spesifik, daya impact, *damping capacity*, dan ketahanan fatik [3]. Penguat untuk matriks Al sendiri dapat berupa kawat baja karbon tinggi yang memiliki kekerasan, kekuatan, dan harga impact yang sangat baik [4]. AA5083 merupakan seri paduan aluminium dengan paduan utama berupa magnesium yang memiliki densitas rendah sehingga dapat mengakomodasi tingginya densitas penguat kawat baja karbon tinggi. Dalam penelitian ini dipelajari mengenai pengaruh variasi fraksi volume penguat dalam matriks komposit terhadap sifat mekanis akhir bahan.

Bahan perekat merupakan bahan yang berfungsi sebagai penguat ikatan antara matriks dengan penguat dalam sistem komposit. Penelitian yang dilakukan oleh Zaera [5] menunjukkan bahwa ketebalan lapisan bahan perekat berbanding lurus dengan deformasi plastis yang terjadi pada pelat AA2017 pada pengujian balistik penambahan bahan perekat pada lapisan komposit mampu meningkatkan area deformasi plastis pada pelat, membantu menyerap energi kinetik dari proyektil, dan mengurangi terjadinya fragmentasi. Salah satu bahan perekat yang umum digunakan adalah poliuretan yang memiliki sifat ulet pada kondisi kering, sehingga tercipta daya ikat yang baik antara matriks AA5083 dan penguat kawat baja karbon tinggi. Untuk itu, dalam penelitian ini digunakan bahan perekat berbahan dasar poliuretan yang inert, dan mampu membuat ikatan antara matriks Al dan penguat kawat baja.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan dasar pembuatan komposit terdiri dari pelat paduan AA5083 dengan ketebalan 6 mm, penguat kawat baja karbon tinggi 6 x 19 dengan diameter 1.4 mm sepanjang 30.5 cm, dan bahan perekat poliuretan (PU) *Seal 'N' Flex* dari Bostik Australia Ply Ltd. Pada Tabel 1 ditunjukkan komposisi matriks aluminium dan penguat kawat baja untuk setiap variasi fraksi volume penguat kawat baja.

8 November 2017

Preparasi bahan dilakukan dengan pengamplasan permukaan pelat aluminium dan kawat baja dengan amplas grit #120 untuk menstimulasi adanya ikatan antar muka antara matriks dan penguat. Digunakan sekitar 300 mL bahan perekat untuk manufaktur tiap sampel.

TABEL 1. Komposisi Pelat Komposit Al dengan Variasi Fraksi Volume Penguat Kawat Baja

Fraksi Vol. Penguat Kawat Baja (%)	Vol. Matriks Al (cm ³)	Vol. Total Komposit (cm ³)	Vol. Penguat Kawat Baja (cm ³)
2.5	1116.3	1144.92	28.62
5.0	1116.3	1175.05	58.75
7.5	1116.3	1206.81	90.51

2.2 Metode

Pemasangan penguat kawat baja dilakukan secara satu arah menggunakan alat bantu untuk meluruskan kawat dan cetakan yang didesain khusus untuk penarikan kawat dan penyusunan laminat komposit yang lebih mudah. Terdapat dua buah cetakan yang digunakan, dimana satu cetakan dialokasikan untuk sampel dengan 2.5 vol. % penguat dan yang lainnya digunakan untuk sampel dengan 5 dan 7.5 vol. % penguat. Proses laminasi sampel diawali dengan penyusunan kawat baja pada cetakan sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan. Kawat yang dimasukkan ke dalam cetakan disimpul dan diberi penjepit rivet. Selanjutnya, bahan perekat PU dioleskan pada salah satu permukaan pelat AA5083 dan penyusunan komposit dilakukan dengan urutan pelat – cetakan kawat – pelat dengan bantuan mesin tekan hidrolik Krisbow bertekanan 30 MPa selama 5-7 jam. Setelah penekanan, proses *curing* dilanjutkan dengan membiarkan sampel di kondisi ruang selama 12 jam.

Karakterisasi dilakukan melalui uji tarik terhadap masing-masing bahan dasar komposit diikuti dengan uji impak sesuai standar ASTM E23 dan uji balistik pada pelat komposit hasil manufaktur. Uji balistik dilakukan dengan mengacu standar NIJ 0108.01 dimensi 12x12 in. menggunakan proyektil tipe II-A dan III yang ditembakkan menggunakan senapan laras panjang SPR-1 kaliber 7.62 dan 9 mm di PT. PINDAD Bandung. Hasil pengujian balistik selanjutnya diobservasi makro menggunakan kamera 5 MP.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

8 November 2017

3.1. Analisis Sifat Komposit Laminat Aluminium Balistik dengan Metode Mikromekanik

Metode mikromekanik [6] digunakan untuk menyimpulkan sifat mekanik dari komposit laminat dengan berdasar pada nilai modulus elastisitas yang didapat dari hasil uji tarik masing-masing bahan penyusun komposit.

Nilai modulus elastisitas untuk pelat AA5083, bahan perekat poliuretan, dan kawat baja secara berturut-turut adalah 43.82, 0.00027, dan 112.17 7 GPa. Tabel 2 menunjukkan nilai kekakuan akhir komposit secara longitudinal (E_1) dan transversal (E_2) bervariasi sesuai dengan besar fraksi volume penguat yang diberikan.

TABEL 2. Pengaruh Fraksi Volume Penguat terhadap Modulus Elastisitas Komposit

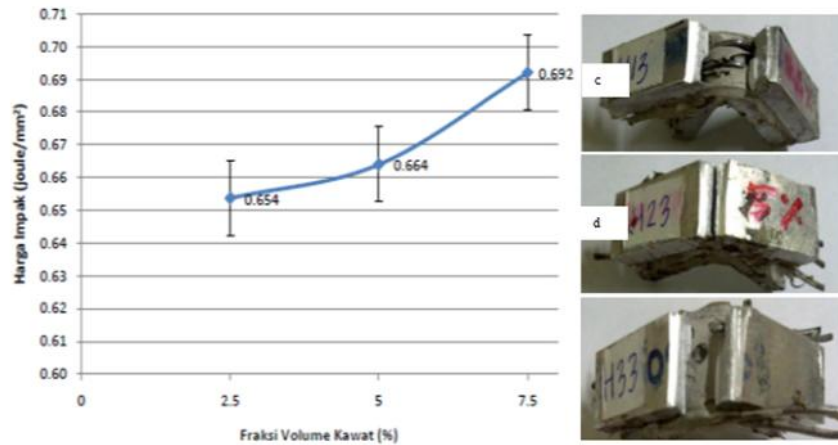
vol. % Kawat Awal	AA5083		Kawat Baja		Perekat PU		E_1 (GPa)	E_2 (GPa)
	vol. %	E (GPa)	vol. %	E (GPa)	vol. %	E (GPa)		
2.5	77.26		1.98		20.76		36.08	0.00130
5.0	75.68	43.82	3.98	112.17	20.34	0.00027	37.63	0.00133
7.5	74.08		6.01		19.91		39.20	0.00136

Perbandingan nilai modulus elastisitas komposit secara longitudinal lebih besar dari arah transversal ($E_1 > E_2$), yang mengindikasikan adanya sifat anisotropi [7] dalam komposit. Anisotropi membuat komposit memiliki sifat mekanis yang unggul pada satu arah.

Dalam Tabel 2 terlihat bahwa penambahan fraksi volume penguat dapat meningkatkan nilai modulus kekakuan longitudinal akhir komposit namun tidak memberikan dampak signifikan pada nilai E_2 . Sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit akan memiliki kekuatan yang baik pada satu arah yaitu arah longitudinal dikarenakan susunan penguatnya yang dibuat satu arah.

3.2. Pengaruh Variasi Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Kekuatan Impak Laminat Komposit

8 November 2017



GAMBAR 1. (a) Dampak Positif Penambahan Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Peningkatan Harga Impak Laminat; Patahan Sampel Hasil Uji Impak dengan Variasi Fraksi Volume Kawat Penguat sebesar (b) 2.5%, (c) 5.0%, dan (d) 7.5%. Tanda Panah Merah Menunjukkan Lokasi *Void*

Gambar 1 (a) menunjukkan hasil uji impak untuk laminat dengan fraksi volume penguat kawat baja sebesar 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % yang nilainya secara berturut-turut adalah 0.654, 0.664, dan 0.692 J/mm^2 . Penambahan jumlah penguat diberikan membuat peningkatan harga impak komposit. Bentuk patahan sempurna di bagian takik terlihat pada Gambar 1 (b,d) yang merupakan sampel dengan penguat sejumlah 2.5 dan 7.5 vol. %. Hasil pengamatan ini berkorelasi sesuai dengan hasil uji impak terhadap kedua sampel tersebut yang memiliki harga impak (HI) yang tinggi. Nilai HI yang tinggi membuat rambatan energi dari bagian belakang hingga depan pelat dapat mengalir tanpa hambatan yang berarti. Dalam seluruh observasi perpatahan di Gambar 1 (a-c) tidak ditemukan adanya kerusakan pada penguat kawat baja di seluruh sampel uji impak.

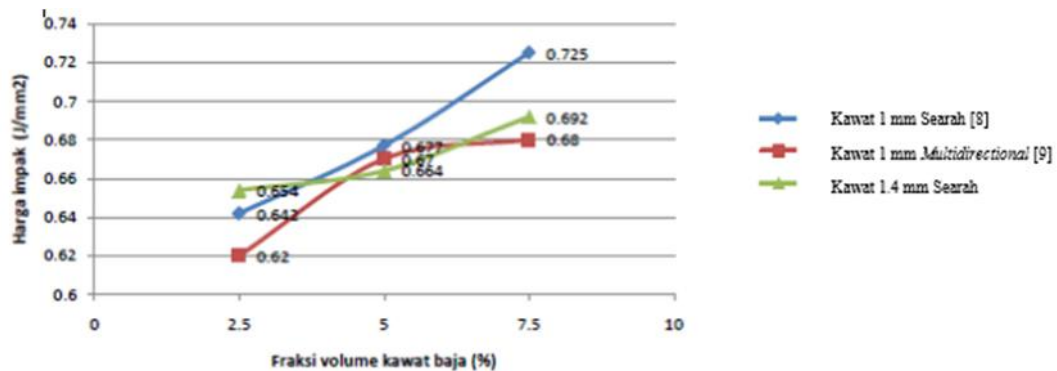
Gambar 1 (b,d) memperlihatkan adanya *void* makro yang ditunjukkan oleh tanda panah merah. Fenomena *void* umum ditemukan pada komposit yang menggunakan bahan perekat sebagai media hubungan antarmuka matriks dengan penguat. Pada penelitian ini telah dilakukan penekanan menggunakan mesin tekan hidrolik untuk minimalisasi *void* namun tetap terdapat udara yang terperangkap dan sulit untuk keluar dikarenakan kerapatan bahan perekat.

8 November 2017

Adanya *void* menyebabkan deviasi antara volume komposit teoritis dan aktual, ketebalan akhir komposit, dan berkurangnya efek lekat antara matriks dan penguat sehingga menyebabkan peredaman energi kinetik dari tembakan proyektil berkurang saat uji balistik dan menyebabkan kegagalan.

3.3. Pengaruh Diameter dan Arah Susun Penguat Kawat Baja terhadap Harga Impak Komposit

Gambar 2 memperlihatkan perbandingan harga impact komposit berpenguat kawat baja diameter 1 mm yang disusun searah [8] dan *multidirectional* dengan arah $0^{\circ}/90^{\circ}/0^{\circ}$ [9] terhadap harga impact komposit berpenguat kawat baja diameter 1.4 mm dalam penelitian ini dengan parameter vol. % penguat kawat baja konstan.



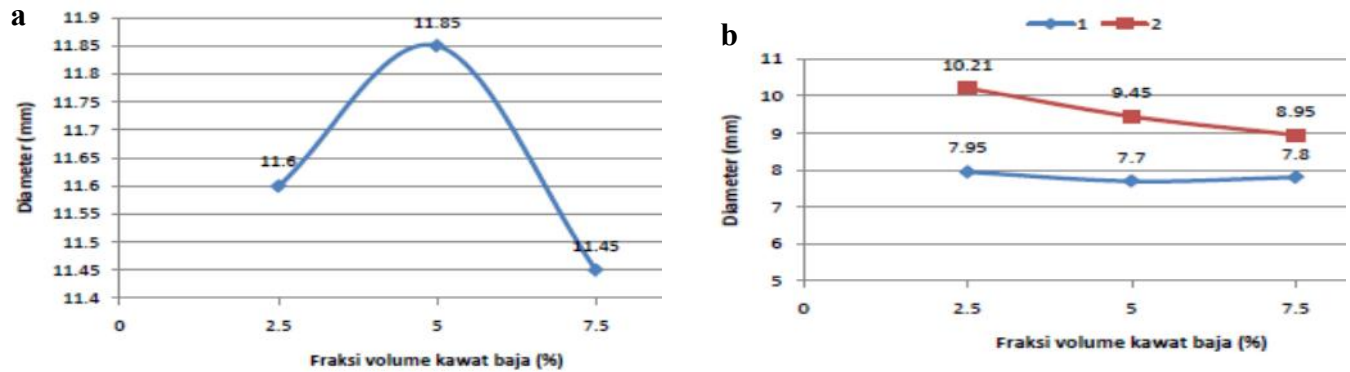
GAMBAR 2. Perbandingan Harga Impact Komposit dengan Variasi Diameter dan Arah Susun Penguat Kawat Baja [8, 9] dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. %.

Komposit berpenguat kawat baja 1 mm yang disusun *multidirectional* memiliki harga impact terendah yaitu 0.62 J/mm^2 dari ketiga jenis komposit dengan 2.5 vol. % penguat kawat baja. Sementara harga impact tertinggi dari pelat dengan 2.5 vol. % penguat dimiliki oleh komposit berpenguat kawat baja 1.4 mm disusun searah. Komposit dengan susunan *multidirectional* memiliki harga impact terendah sesuai dengan prinsip anisotropi yang hanya dapat memperkuat komposit dengan penguat satu arah [7]. Penurunan harga impact komposit dengan 5 vol. % kawat baja 4 mm terjadi dikarenakan munculnya banyak rongga dikarenakan penyebaran bahan perekat poliuretan yang tidak merata. Harga impact tertinggi sebesar 0.725 J/mm^2 dimiliki oleh pelat berpenguat kawat baja 1 mm searah yang memiliki sifat anisotropi dan jumlah *void* minim.

3.4. Pengaruh Fraksi Volume Penguat Kawat Baja terhadap Hasil Uji Balistik Komposit

Hasil uji balistik pelat komposit diobservasi secara makro lewat pengukuran diameter hasil perforasi dari proyektil 7.62 dan 9 mm. Gambar 3 (a) memperlihatkan bahwa penembakan proyektil 9 mm hanya menghasilkan penjejakkan pada permukaan pelat tanpa terjadi penembusan sebesar 11.60, 11.85, dan 11.45 mm secara berturut-turut pada pelat dengan fraksi volume penguat sebanyak 2.5%, 5.0%, dan 7.5%. Energi yang dihasilkan oleh proyektil lebih rendah dibandingkan dengan energi impact pelat komposit sehingga dalam hal ini hanya terjadi penetrasi sebagian [10]. Diameter penjejakkan yang besar pada pelat dengan 5.0 vol. % kawat baja diperkirakan terjadi akibat lokasi penjejakkan yang berada di daerah dengan minim penguat dan memiliki banyak volume udara terperangkap sehingga hasil uji balistik yang diperoleh tidak sejalan dengan hasil uji impact pelat bersangkutan yang memiliki nilai lebih tinggi dari harga impact pelat dengan 2.5 vol. % penguat. Gambar 3 (b) menunjukkan diameter perforasi proyektil 7.62 mm di lokasi 1 – permukaan pelat; dan 2 – bagian dalam komposit. Diameter penjejakkan bagian luar pada ketiga pelat bernilai hampir identik dikarenakan beban kejut hanya mengenai matriks aluminium bagian luar komposit. Terdapat perbedaan diameter penjejakkan proyektil di bagian dalam komposit yaitu sebesar 10.21, 9.54, dan 8.95 mm secara berturut-turut untuk pelat dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % kawat baja yang diakibatkan oleh perbedaan sistem penguatan dalam masing-masing sampel. Pelat dengan komposisi penguat terbesar memiliki jejak proyektil di bagian dalam yang paling kecil oleh karena adanya mekanisme penyerapan energi impact yang paling baik. Hasil analisis makro terhadap patahan hasil uji balistik dengan proyektil 7.62 mm menunjukkan bahwa proyektil masuk melewati matriks AA5083 tanpa meninggalkan jejak kecuali bentuk kelopak bunga di permukaan luar pelat yang terjadi akibat gaya spiral proyektil. Kawat baja putus setelah terkena proyektil dan menyebabkan arah jalan proyektil menjadi berantakan sehingga bagian belakang pelat akan pecah atau memiliki bekas penjejakkan yang tidak teratur ketika peluru keluar [11].

8 November 2017



GAMBAR 3. Diameter (a) Penetrasi Parsial Hasil Perforasi Proyektil Kaliber 9 mm; dan (b) Penetrasi Kaliber 7.62 mm pada Pelat Komposit AA5083 dengan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % Penguat Kawat Baja 1.4 mm.

4. KESIMPULAN

1. Harga impact komposit meningkat seiring peningkatan fraksi volume penguat sebesar 0.654, 0.664, dan 0.692 J/mm² pada penambahan 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % penguat kawat baja.
2. Kekuatan dan ketahanan balistik pelat komposit meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume penguat dinilai dari semakin kecilnya diameter perforasi akibat penetrasi proyektil pada pelat komposit hasil uji balistik. Komposit dengan penguat kawat baja sebanyak 2.5, 5.0, dan 7.5 vol. % memiliki diameter penjejakan sebesar 11.60, 11.85, dan 11.45 mm hasil penetrasi parsial dari menembakkan proyektil kaliber 9 mm dan sebesar 14.4, 15.9, dan 16.25 mm pada hasil perforasi proyektil 7.62 mm.
3. Ketahanan pelat terhadap proyektil bernilai semakin baik dengan semakin kecilnya diameter penjejakan pada bagian depan pelat, sementara diameter perforasi yang lebih besar dan tidak teratur di bagian belakang komposit mengindikasikan adanya penyerapan energi impact dari menembakkan oleh pelat komposit yang lebih baik.
4. Komposit dengan penguat yang disusun pada satu arah memiliki harga impact yang lebih baik dibandingkan komposit dengan penguat yang disusun secara *multi-directional*.
5. Melakukan studi korosifitas air dengan menghitung *Ryznar index* (RI) dan *Langelier saturation index* (LSI).

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini terlaksana melalui pendanaan sebagian dari Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) 2017 dari Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) Republik Indonesia.

REFERENSI

1. M. Ubeyli, R. O. Yilidrim, dan B. Ogel, On the Drop-weight Testing of Alumina/Aluminum Laminated Composite (TOBB Ekonomi ve Teknoloji Universitesi Muhendislik Fakultesi, Ankara, 2005).
2. M. Ubeyli, R. O. Yildirim, dan B. Ogel, On the comparison of the ballistic performance of steel and laminated composite armors, *Mat. and Design* 28, 1257-1262 (2007).
3. Pengaksesan informasi: <http://www.shiyata.co.jp/English/GIS3252E/rope6X19E.htm>.
4. Certificate of Test Steel Wire Rope, USHA SIAM Steel Industry Public Co. Ltd. (2009).
5. R. Zaera, S. Sanchez-Saez, M. Sanchez-de la Sierra, J. L. Perez-Castellanos, dan C. Navaro, Influence of the Adhesive in the Ballistic Performance of Ceramic Faced Plate Armours (Proc. 18th Ballistics Symposium, San Antonio, 1999).
6. F. L. Matthews dan R. D. Rawlings, *Composite Materials: Engineering and Science* (Chapman & Hall, London, 1994).
7. R. M. Christensen, Stress Based Yield/Failure Criteria for Fiber Composites, *Int. J. Solids Structures* 34, 529-534 (1997).
8. R. Muhammad, Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi Berdiameter 1 mm yang Disusun Satu Arah dan Variasi Fraksi Volume 2.5%, 5%, dan 7.5% (Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2010).
9. L. P. Novian, Perancangan Pelat Komposit AA5083 Tahan Peluru dengan Penguat Kawat Baja Karbon Tinggi dengan Susunan (00/90o/0o) dan Fraksi Volume 2.5%, 5%, dan 7.5% (Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, 2010).
10. A. Basuki, Ketahanan Balistik Baja Tahan Peluru Produksi dalam Negeri terhadap Penetrasi Proyektil 5.56 mm, (Prosiding Seminar Nasional Metalurgi dan Material, Cilegon, 2010).
11. Pengaksesan informasi: http://karws.gso.uri.edu/jfk/scientific_topics/wound_ballistics/how_a_high-speed.html.

Aplikasi In Dies Sintering Untuk Pengolahan Limbah Kemasan Plastik/Aluminium Foil Menjadi Produk Papan Partikel

Heru Sukanto^{1,A)}, & Triyono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

^{a)}herusukanto@staff.uns.ac.id

Abstract.

Limbah kemasan plastik aluminium foil memiliki potensi untuk diolah menjadi papan partikel sebagai bahan alternatif pengganti papan berbahan baku kayu hasil hutan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menerapkan metode *in dies sintering* untuk membuat produk papan partikel dari limbah kemasan plastik/aluminium foil dan mempelajari pengaruh parameter tekanan terhadap sifat produk. Limbah kemasan dicacah dengan mesin *crusher* hingga menjadi serphan dengan ukuran maksimal 10 mm. Proses sintering dilakukan di dalam tungku listrik dengan suhu 220°C dan ditahan selama 2 jam. Tekanan pada dies difungsikan untuk menghilangkan distorsi dimensi pada produk dan diatur pada tekanan rendah yakni 1 bar. Pengujian produk papan partikel meliputi pengujian densitas, bending dan kekuatan tarik tegak lurus sesuai standar SNI 03-2105-2006. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas, kekuatan lentur dan kekuatan tarik tegak lurus sebanding dengan bertambahnya tekanan dies yakni masing-masing sebesar 0.669 – 0.904 gr/cm³, 14.474 – 25.626 MPa, dan 0.112 – 0.166 MPa. Produk papan hasil pengolahan limbah kemasan plastik/aluminium foil telah memenuhi standar produk papan partikel sebagaimana yang dipersyaratkan oleh SNI 03-2105-2006.

Kata kunci: aluminium foil, SNI 03-2105-2006, in dies sintering, papan partikel

8 November 2017

1. Pendahuluan

Estimasi jumlah timbunan sampah di Indonesia mencapai 38,5 juta ton per tahun dengan komposisi terbesar adalah sampah organik (58 %), sampah plastik (14 %), sampah kertas (9 %), dan sampah kayu (4 %). Salah satu permasalahan penting mengenai lingkungan di dunia ataupun di Indonesia khususnya adalah mengenai sampah plastik. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup Indonesia menunjukkan bahwa jumlah sampah plastik yang terbuang mencapai 26.500 ton per hari. Sampah di dunia ternyata di dominasi oleh sampah plastik dengan persentase 32 % (Juliastuti *et al.* 2015). Meningkatnya jumlah sampah plastik ini menjadi sebuah hal yang mengancam kestabilan ekosistem lingkungan, mengingat plastik yang digunakan saat ini adalah *nonbiodegradable* (plastik yang tidak dapat terurai secara alami) dan salah satunya adalah *aluminium foil*. Aluminium foil yang dilaminasi dengan plastik (Al/P) adalah salah satu bahan kemasan yang sangat lama dan sulit untuk terurai. Untuk menghancurkan bahan tersebut secara alami dibutuhkan 400 tahun. Dalam industri pengemasan makanan, aluminium foil yang dilapiskan pada plastik sangat membantu dalam menangkal cahaya matahari dan bakteri yang dapat merusak struktur makanan sehingga kualitasnya tidak maksimal. Selain itu, aluminium foil pun dapat menjaga rasa, bau, serta kelembaban yang sangat penting dalam industri makanan. Harga produksi aluminium foil yang murah, menyebabkan produksi aluminium foil berkembang pesat (Robertson, 2006). Meskipun demikian, aluminium foil tetap memiliki banyak kekurangan. Dalam setiap pemrosesan bijih aluminium menjadi aluminium siap pakai diperlukan sumber daya energi 15,7 kWh listrik tiap kilogram. Padahal secara teoritis, diperlukan bijih aluminium 6 kg untuk menghasilkan satu kilogram produk aluminium. Energi sebesar itu kebanyakan didapatkan dari bahan bakar fosil yang berkontribusi sebesar 1% atas global warming (The Aluminium Asc.).

Model mengurangi jumlah sampah dengan cara membakar di udara bebas terbuka berpotensi menyebabkan masalah baru, yakni terlepasnya logam beracun dan gas berbahaya ke lapisan atmosfer. Daur ulang merupakan sebuah solusi yang tepat bagi pengelolaan sampah kemasan Al/P dalam menekan permasalahan lingkungan. Beberapa usaha telah dilakukan oleh sebagian masyarakat dalam mendaur ulang plastik aluminium kemasan. Plastik aluminium foil bekas ada yang dimanfaatkan sebagai bahan kreasi kerajinan tangan, seperti tas dan anyaman.

8 November 2017

Sebagian lainnya, sampah aluminium foil dilebur untuk diambil aluminiumnya saja sedangkan plastiknya hilang menguap karena pemanasan pada suhu tinggi. Upaya kreatif ini tentu saja perlu diapresiasi, namun semua itu belum mampu mereduksi jumlah sampah plastik aluminium foil secara signifikan. Peleburan sampah plastik aluminium foil untuk kemudian diambil aluminiumnya saja juga perlu dikalkulasi lagi lebih detail untung ruginya, terutama tentang konsumsi energi selama proses peleburan. Jong dan Juwono (2010) melakukan studi perbandingan sifat mekanik *polypropylene* murni, daur ulang dan komersial. Pengujian termal dengan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) menunjukkan bahwa PP murni, PP daur ulang dan PP daur ulang komersial tidak menyebabkan perubahan titik leleh yang signifikan yakni berada pada kisaran 160-163^oC. Penelitian ini menjadi dasar bahwa penggunaan plastik daur ulang dan plastik murni sebagai matrik atau pengikat tidak memberikan kontribusi yang berbeda pada sifat fisik dan mekanik. Kelemahan penelitian ini adalah masih menggunakan daur ulang dengan cara melelehkan plastik hingga suhu tinggi dan membekukannya lagi. Konsekwensinya, energi thermal yang berasal dari daya listrik juga cukup tinggi. Penelitian ini juga tidak melibatkan bahan lain sebagai campuran daur ulang plastik sehingga tidak bisa diperoleh informasi sifat ikatan plastik setelah didaur ulang dengan partikel lain.

Teknologi serbuk mempunyai prospek yang *visible* untuk menjawab tantangan ini. Prosesnya cukup sederhana, yakni plastik aluminium foil dicacah menjadi bentuk serpihan atau serbuk kemudian dipanaskan sambil diberi tekanan (*hot press*). Proses ini telah dapat mengubah limbah plastik aluminium foil menjadi papan dengan berbagai keunggulan, diantaranya mampu menyerap volume sampah secara signifikan dan pengolahannya memutuskan energi yang rendah. Hanya saja teknologi *hot press* belum memungkinkan untuk diaplikasikan secara komersial karena beberapa hal, antara lain waktu proses relatif lama (30 – 45 menit) untuk setiap produk, penggunaan piranti tidak optimal (satu piranti hanya menghasilkan satu produk) dalam siklus produksi serta untuk memperoleh pendinginan cepat diperlukan desain cetakan yang rumit.

Inovasi untuk mengatasi masalah yang ada pada proses *hot press* terdapat pada proses *continuous sintering*. Teknologi ini memungkinkan proses pengepresan dan pemanasan berlangsung secara berurutan sehingga siklus pada hot press bisa diputus menjadi dua tahap dengan waktu yang lebih singkat.

8 November 2017

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Penyiapan Bahan

Objek bahan yang diteliti dalam riset ini adalah limbah plastik aluminium foil bekas kemasan makanan, detergen, minuman instan dan semisalnya (Gambar 1a.). Aluminium foil umumnya terdiri atas 92 sampai 99% logam aluminium serta memiliki ketebalan berkisar antara 0.00017 sampai 0.0059 inci. Jenis dan sifat AL/P yang umum digunakan untuk kemasan disajikan dalam Tabel 1. Aluminium foil memiliki banyak kegunaan di dunia industri, salah satunya sebagai bahan pelapis makanan. Hal ini disebabkan aluminium foil memiliki harga produksi yang murah, tahan lama, tidak beracun, dan anti air.

Bahkan lebih jauh lagi, aluminium foil dapat menangkal zat kimia berbahaya dan bertindak sebagai pelindung terhadap sifat kemagnetan (Gale, 2005). Untuk pengemasan, aluminium foil dilapisi dengan satu atau dua lapisan plastik. Bagian dalam yang dipakai sebagai perekat menggunakan lapisan plastik jenis polypropilene (PP) atau high density polyethylene (HDPE) sedangkan pada bagian luar yang biasa terdapat gambar kemasan menggunakan plastik jenis polyethylene teraphthale (PET). Keberadaan tinta *printing* pada kemasan tidak mempengaruhi sifat kemasan AL/P secara signifikan. Polimer jenis polyamide digunakan pada kemasan khusus yang sebagian besar menggunakan tinta untuk memberi label dan keperluan promosi dengan ketebalam sekitar 4 μm (Mieth et.al, 2016).

Table 1. Jenis kemasan Al/P yang digunakan dalam penelitian ini.

Jenis Kemasan	Ketebalan, μm	Densitas, gr/cm^3
Makanan ringan	50 – 90	0.65 – 1.1
Kemasan minuman dan makanan cepat saji.	60 – 110	0.85 – 1.25
Deterjen/softener/sampo	78 – 158	0.91 – 1.1

Kemasan plastik aluminium foil dihancurkan dengan menggunakan mesin *crushing* hingga menjadi serpihan kecil. Ukuran serpihan yang digunakan adalah *as ricieve*, yakni apa adanya tanpa ada perlakuan penyeragaman ukuran. Secara teoritis, ukuran partikel yang variatif justru dapat menghasilkan *void* yang rendah ketika dikenai pengepresan dan pemanasan. Penghancuran pada mesin *crushing* juga berfungsi untuk menghilangkan partikel pengotor

8 November 2017

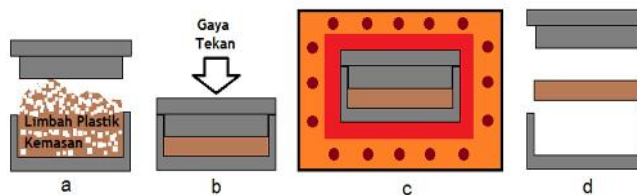
yang melekat pada kemasan. Gambar 1b. menunjukkan partikel atau serpihan limbah plastik aluminium foil dari berbagai jenis kemasan *snack* yang telah dihancurkan dengan mesin *crushing*. Ukuran serpihan bervariasi pada kisaran 2 mm hingga 15 mm merujuk pada kriteria *maximum diameter*. Penggunaan mesin *multistage crushing* bisa menghasilkan serpihan yang lebih halus dengan kisaran ukuran 1 mm hingga 6 mm.



GAMBAR 1. (a) Berbagai jenis limbah plastik aluminium foil kemasan, (b) plastik aluminium foil kemasan yang telah dihancurkan dengan mesin crushing.

2.2 Pembuatan Spesimen

Continuous sintering adalah salah satu metode untuk menghasilkan produk dengan teknologi serbuk. Pada proses ini, sampel yang telah dikompaksi (*green body*) dipanaskan atau disinter sehingga proses *rearrangement* partikel serbuk bisa terjadi secara maksimal. Secara garis besar, tahapan proses *continuous sintering* dimodelkan seperti pada Gambar 2. mengingat plastik adalah material yang memiliki elastisitas tinggi maka tidak mungkin membuat *green body*. Untuk alasan ini, plastik yang dikompaksi dipanaskan dalam tungku bersamaan dengan cetaknya.



GAMBAR 2. Model proses continuous sintering: (a) serpihan plastik aluminium foil dituang pada cetakan, (b) serpihan plastik aluminium foil dikompaksi pada tekanan tertentu, (c) cetakan dan plastik aluminium foil dipanaskan dalam tungku, (d) cetakan dan plastik aluminium foil didinginkan kemudian produk dikeluarkan dari cetakan.

8 November 2017

Pada tahap penuangan, serpihan plastik kemasan dituangkan dalam cetakan dan diratakan permukaannya. Perataan permukaan dilakukan dengan *hand layup* tanpa menggetarkan cetakan. Perataan cara ini bisa mempertahankan konfigurasi campuran ukuran serpihan kemasan terjaga tetap acak. Artinya, ukuran serpihan yang besar dan yang kecil tetap tersebar secara merata atau tidak mengelompok. Bila menggunakan getaran, maka akan didapat serpihan plastik yang berukuran kecil mengelompok dibagian bawah cetakan. Hal ini akan menyebabkan berkurangnya permukaan kontak antar serpihan kemasan yang pada akhirnya mengurangi ikatan antar serpihan ketika dikenai tekanan dan panas. Permukaan kontak yang kurang mencukupi berakibat pada distribusi kekuatan yang kurang merata pada produk hasil sintering.

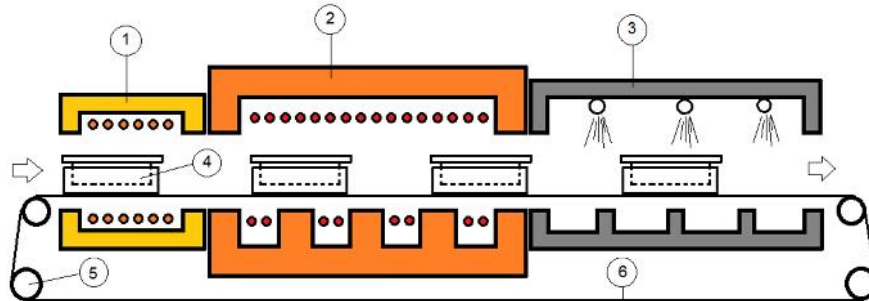
Tahap berikutnya adalah menekan serpihan plastik kemasan dalam cetakan yang diatur pada skala 1 bar. Tahap kompaksi ini cukup penting agar serpihan plastik kemasan membentuk permukaan kontak yang akan membantu saat sintering. Tekanan tidak membeikan pengaruh yang linier terhadap kualitas produk. Artinya, terdapat tekanan optimal yang menghasilkan kekuatan produk maksimal. Tahap berikutnya yang paling penting adalah memanaskan serpihan plastik kemasan dengan cara memasukkan cetakan ke dalam tungku yang diatur pada angka 220°C. Pemanasan menggunakan *electric heater* memungkinkan mengatur laju pemanasan pada tingkat yang tidak menyebabkan terjadinya *thermal shock*. Pemanasan yang dilakukan secara mendadak bisa berakibat plastik dan aluminium foil terpisah karena perbedaan muai panjang antara keduanya. Tekanan dari cetakan memberi keuntungan agar serpihan plastik aluminium foil memiliki kesempatan menempati posisi yang tepat (*rearrangement*). Posisi yang tepat maksudnya, setiap rongga antar serpihan bisa diisi oleh serpihan plastik lain atau oleh lelehan plastik yang melapisi aluminium foil. Energi *thermal* yang dikenakan pada saat penekanan akan memudahkan plastik mengalir mengisi bagian rongga (*necking*) sehingga dapat mengikat aluminium foil secara sempurna. Sintering yang terjadi mengikuti mekanisme *liquid phase sintering*.

Tahap terakhir adalah mendinginkan cetakan setelah dikeluarkan dari tungku. Kecepatan pendinginan perlu dikontrol untuk menghindari deformasi bentuk produk. Fenomena ini sangat mungkin terjadi karena muai panjang antara cetakan dan produk tidak sama. Pendinginan yang cepat tidak memberi kesempatan pada cetakan dan produk kembali ke ukuran semula secara alami.

8 November 2017

Namun demikian, pendinginan alami memerlukan waktu yang lama sehingga dalam pertimbangan produktifitas tidak diinginkan.

Skema siklus continuous sintering ditunjukkan pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Siklus proses continuous sintering. (1) tungku pre-heat, (2) tungku sintering, (3) pendinginan, (4) cetakan yang didalamnya terdapat serpihan kemasan Al/P, (5) puli konveyor, (6) sabuk konveyor.

3. MATERIAL DAN METODE

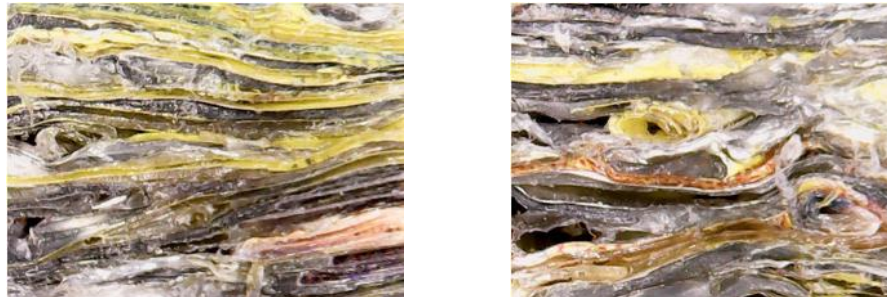
3.1 Foto dan Densitas Produk

Suhu di dalam furnace yang diatur 220°C menghasilkan panas yang cukup didalam cetakan untuk membuat semua konten plastic menjadi lunak hingga meleleh dan terjadi transportasi material antar partikel selama sintering (Borsoum, 1997) yang menyebabkan terjadinya ikatan. Material plastic yang memiliki melting point lebih rendah dibandingkan aluminum akan lebih aktif bertransportasi membuat ikatan sesame plastic sehingga melingkupi material aluminum. Sistem material ini menghasilkan komposit dengan plastic sebagai matrik dan aluminum sebagai penguat, seperti terlihat pada Gambar 4. Mekanisme pengikatannya melalui proses *liquid fase sintering*. Liquid memungkinkan transportasi material lebih cepat sehingga berpeluang untuk menyelesaikan tahap sintering dalam waktu cepat. Pemanasan yang berlanjut menyebabkan fase solid (aluminium) “tenggelam” ke dalam liquid dan jumlah *plastic molten* hingga jenuh dan mencapai kesetimbangan dengan komponen padat (German, 1994).

Berkean dengan Densitas, produk papan partikel Al/P memiliki densitas $0.67 - 0.9 \text{ gr/cm}^3$. Sebaran densitas dipengaruhi oleh perilaku partikel cacahan kemasan saat ditekan dan disinter. Cacahan kemasan Al/P yang tertata rata dan berlapis secara teratur pada saat *rearrangement*

8 November 2017

pada tahap pengepresan akan menghasilkan produk dengan densitas tinggi. Namun demikian, tidak mungkin menghasilkan produk papan yang *fully density*. Selalu terdapat pori atau rongga pada setiap produk papan partikel Al/P dan bahkan semua jenis papan partikel. Rongga atau pori yang terbentuk dalam produk terdapat pada daerah di sekeliling partikel flakes yang tergulung atau tertekuk (Gambar 4). Zona tersebut membentuk ruangan kosong yang cukup besar yang tidak hilang pada saat kompresi. Ruangan ini tentu saja membutuhkan aliran plastic yang volumenya cukup untuk memenuhinya sedangkan plastic yang tersedia di luasan yang berhadapan dengan rongga tersebut tidak mungkin mencukupi. Ruang ini umumnya daerah volumetric yang terjebak oleh zona lain yang lebih rapat yang menghalangi aliran plastic dari luar rongga menuju ke dalam rongga. Rongga ini akan tetap eksis hingga akhir sintering stage. Tekanan pada dies yang lebih tinggi bisa mengurangi volume rongga dan meningkatkan densitas produk (Liang. at al, 1999). Meskipun demikian, densitas produk papan Al/P masih dalam batas densitas papan partikel berdasarkan persyaratan standar SNI.



GAMBAR 4. Foto makro sistem komposit yang terbentuk dari proses sintering limbah kemasan Al/P. Partikel kemasan membentuk susunan laminasi dan rongga atau pori terbentuk pada daerah sekitar partikel kemasan yang tergulung.

3.2. Modulus of Rupture (MOR) and Modulus of Elasticity (MOE)

Pada kebanyakan material papan partikel biasa digunakan untuk komponen yang terpasang horisontal yang terbebani dengan besaran yang bervariasi. Pembebanan tersebut memungkinkan komponen papan partikel mengalami lendutan (*bending*). *Modulus of rupture* (MOR) atau kekuatan lentur dan *modulus of elasticity* (MOE) pada beban bending sering lebih banyak dipertimbangkan dalam penerapannya dari pada kekuatan tarik.

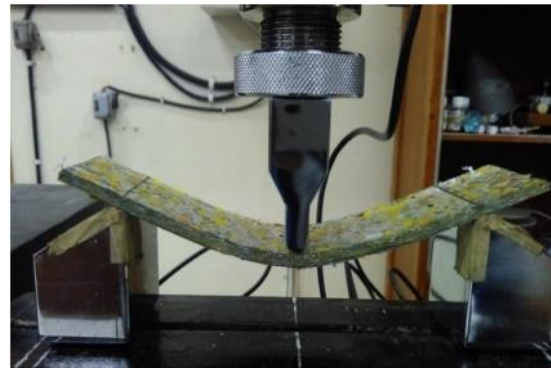
8 November 2017

Sifat bending dapat menggambarkan kombinasi dari deformasi tarik dan tekan yang hampir semua material plastik memiliki nilai modulus yang sangat berbeda (Shackelford, 1996).

Nilai MOE dan MOR produk papan partikel Al/P masing-masing berkisar pada angka 880 hingga 1070 MPa dan 21.26 hingga 28.93 MPa. Jika dibandingkan dengan nilai MOR jenis plastic LDPE (8,1 MPa) dan PP copolymer (26 MPa), produk papan partikel Al/P particleboard memperlihatkan keunggulannya. Mekanisme penguatan produk saat dikenai beban bending ditunjukkan dengan terjadinya perambatan retak yang terdefleksi sehingga membentuk pola garis yang acak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5(a). Rambatan retak yang bergerak dari permukaan paling luar dibelokkan oleh keberadaan partikel aluminum di dalam produk. reakan berikutnya membutuhkan energi yang lebih besar untuk mengawali rambatannya sehingga secara keseluruhan material menjadi lebih kuat. Dari fotomakro juga terlihat bahwa kerusakan akibat delaminasi berkontribusi dalam menurunkan kekuatan bending produk papan. Delaminasi muncul dari dua keadaan, yakni delaminasi antara ikatan plastik dan aluminium yang memang memiliki ikatan rendah dan delaminasi antara cacahan kemasan Al/P akibat rambatan retak yang memotong plastik.



(a)



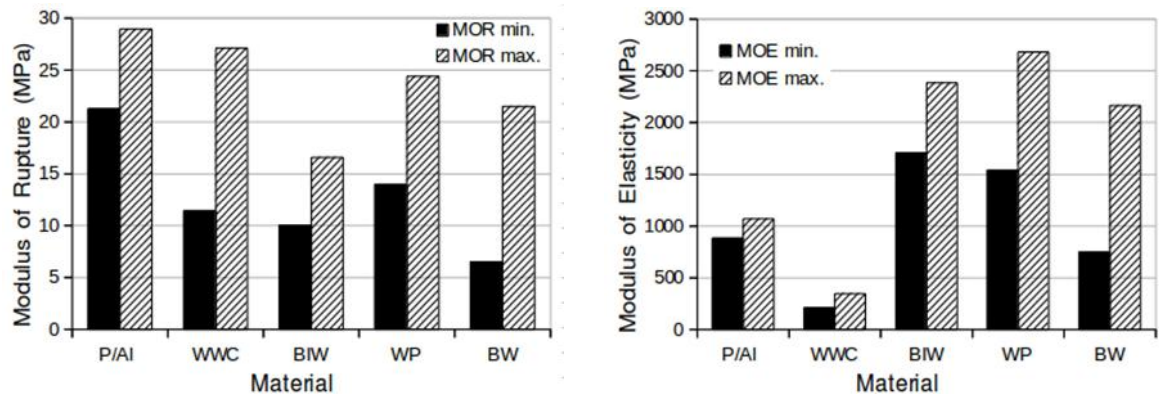
(b)

Gambar 5. (a) Kegagalan akibat retakan dan delaminasi terjadi pada papan partikel Al/P saat dikenai beban bending, (b) produk papan partikel Al/P memperlihatkan sifat ulet yang sangat baik.

Produk papan partikel Al/P memperlihatkan sifat ulet yang sangat baik saat terkena beban tekuk. Batas lendutan elastis mencapai 17% dari panjang bentangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5(b). Sifat ulet ini mencapai maksimal pada batas fracture pada angka 42%.

8 November 2017

Nilai ini sangat jauh dari sifat elastis papan partikel pada umumnya. Beberapa prosuk papan partikel dari berbagai jenis limbah telah diteliti dan diuji oleh banyak peneliti, seperti limbah serpihan kayu (wood waste chips) (Wang, et,all, 2007), *bagasse and industrial wood particles* (Dahmardehghalehno & Bayatkashkoli, 2013), limbah kertas (Nourbakhsh & Ashori, 2010) serta limbah bambu (Laemlaksakul, 2010). Gambar 6 menunjukkan nilai MOR dan MOE dari berbagai macam papan partikel olahan limbah dan komparasinya dengan papan partikel Al/P.



Gambar 6. Nilai MOR dan MOE produk papan partikel Al/P dan komparasinya terhadap produk papan partikel lainnya yang dibuat dari olahan berbagai macam limbah (WWC = wood waste chips; BIW = bagasse and industrial wood particles; WP = waste of paper; BW = bamboo waste)

4. SIMPULAN

1. Limbah kemasan aluminium foil yang dilapisi plastik (kemasan Al/P) telah bisa diolah menjadi papan partikel Al/P dengan menerapkan metode in dies sintering.
2. Produk papan partikel Al/P memungkinkan digunakan sebagai bahan untuk konstruksi beban ringan dan sifat mekaniknya telah memenuhi persyaratan SNI 03-2105-2006.

ACKNOWLEDGMNET

Penelitian ini dibiayai oleh Kementrian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dengan skema PUPT 2017.

REFERENSI

Dahmardehghalehno M and Bayatkashkoli A. 2013, Experimental particleboard from bagasse and industrial wood particles, *Int. J. Agric. Crop Sci.*, vol. 5, no. 15, pp. 1626–1631.

German R.M, 1994, *Powder Metallurgy Science*, 2nd ed, Metal Powder Industries Federation, New Jersey.

Juliasuti, S. R., Hendrianier, N., Febrianto, A., Ramadhika, D. D., 2015, Waste treatment of Multilayer LDPE (Low Density Poly Ethilene) Packaging with Pyrolysis Microwave Methods, Thesis.

Laemlaksakul V., 2010, Physical and mechanical properties of particleboard from bamboo waste, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, vol. 64, no. 4, pp. 561–565.

Meith A, Hoekstra E, Simoneau C, 2016, Guidance for the Identification of Polymers in Multilayer Films Used in Food Contact Materials, JRC Technical Report, EUR 27816EN/ doi: 10.2788/10593.

Nourbakhsh A and Ashori A., 2010, Particleboard made from waste paper treated with maleic anhydride., *Waste Manag. Res.*, 2010, vol. 28, no. 1, pp. 51–55.

Shackelford JF, 1996, *Introduction to Materials Science for Engineers*, 4th Ed, Prentice Hall Int'l. Inc.

SNI 03-2105-2006, 2004, Particleboard Quality, Indonesian Standardization Board.

Wang S.Y, Yang T.H, Lin L.T, Lin C.J, and Tsai M.J., 2007, Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin, *Build. Environ.*, vol. 42, no. 7, pp. 2472–2479.

Pengaruh Perlakuan Panas Dua Tahap Pada Baja Mangan GXMn12 Untuk Peningkatan Ketangguhan

Budi H. Setiamarga^{1,A)}, Jonathan Martin^{1,B)}, Hakim Ginanjar^{1,C)}, & Ery Hidayat^{2,D)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB

²Jurusan Teknik Pengecoran, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung.

^{a)}budi.setiamarga@itb.ac.id ^{b)}joe.mar20@yahoo.co.id ^{c)}hakimginan@gmail.com

^{d)}eryhidayat@yahoo.com

Abstrak

Baja Mangan biasa dipakai untuk komponen yang mengalami *abrasive wear* karena baja ini dapat mengalami transformasi martensitik bila permukaannya mengalami deformasi plastis. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak, ketangguhannya haruslah ditingkatkan. Proses perlakuan panas yang biasa dilakukan terhadap baja dalam kondisi *as-cast* adalah proses perlakuan panas satu tahap pada 1100⁰C yang diikuti dengan proses celup cepat. Dalam penelitian ini, tiga jenis perlakuan panas dua tahap telah dilakukan. Pada perlakuan panas pertama dan kedua, pemanasan tahap pertama dilakukan pada temperatur 595⁰C dan 620⁰C selama 10 jam, diikuti pemanasan tahap kedua yang dilakukan pada 980⁰C selama 2 jam, kemudian dilakukan celup cepat. Sementara, pada perlakuan panas ketiga, pemanasan tahap pertama dilakukan pada 700⁰C selama 3 jam, diikuti pemanasan tahap kedua yang dilakukan pada 1000⁰C selama 1,5 jam, kemudian dilakukan celup cepat. Perbandingan *toughness ratio* dari hasil uji tarik sampel-sampel perlakuan panas menunjukkan bahwa perlakuan panas dua tahap dengan pemanasan tahap pertama pada 700⁰C selama 3 jam yang diikuti dengan pemanasan tahap kedua pada 1000⁰C selama 1,5 jam, menghasilkan harga *toughness ratio* yang terbaik.

Kata kunci : Baja Mangan GXMn12, perlakuan panas dua tahap, ketangguhan

1. PENDAHULUAN

Baja Mangan Austenitik merupakan jenis paduan baja yang memiliki unsur paduan utama mangan (Mn) dengan struktur mikro austenit^[1]. Jenis baja tersebut pertama kali ditemukan oleh Sir Robert Hadfield pada tahun 1882 sehingga baja tersebut sering disebut sebagai Baja Hadfield.

8 November 2017

Baja Hadfield mengandung 1,2% C dan 12% Mn, tetapi komposisi tersebut dapat dimodifikasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang dibutuhkan di dunia industri. Beberapa modifikasi unsur tersebut terdapat di dalam ASTM A128 [2]. Baja Hadfield tergolong paduan yang memiliki sifat yang unik karena paduan tersebut dapat menggabungkan antara sifat ketangguhan dan duktilitas yang tinggi dengan kapasitas *work-hardening* yang tinggi, serta memiliki ketahanan aus yang baik [1].

Dengan sifat-sifat tersebut, Baja Hadfield merupakan jenis material teknik yang sangat berguna untuk keperluan industri. Dengan menggunakan sedikit modifikasi komposisi dan perlakuan panas, Baja Hadfield sering digunakan di industri pengeboran minyak, pertambangan, penggalian dan pengerukan, pembuatan baja, serta pembuatan semen dan keramik. Baja Hadfield juga digunakan sebagai peralatan untuk memproses bahan-bahan baku hasil pertambangan, seperti alat penghancur batu, penggiling, dan *bucket* pada ekskavator. Karena memiliki sifat ketahanan aus yang baik, maka Baja Hadfield juga sering diaplikasikan pada roda, roda gigi, dan rantai *conveyor*.

Hingga saat ini, beberapa metode perlakuan panas telah dikembangkan untuk meningkatkan sifat mekanik Baja Hadfield, khususnya sifat ketangguhannya. Metode perlakuan panas yang umum digunakan untuk Baja Hadfield adalah memanaskan material pada temperatur 1010-1100°C selama 1-2 jam per ketebalan 25 mm, kemudian didinginkan cepat pada air yang diagitasi [1]. Pemanasan tersebut bertujuan untuk melarutkan karbida yang terdapat di batas butir austenit sehingga meningkatkan kekuatan dari Baja Hadfield [1]. Menurut ASM [1], metode perlakuan panas tersebut dapat dimodifikasi menjadi perlakuan panas dua tahap. Pada tahap pertama, material dipanaskan pada temperatur 595°C selama 8-12 jam, kemudian dilanjutkan tahap kedua, yaitu material dipanaskan pada temperatur 980°C selama 2 jam per ketebalan 25 mm, dan dilakukan pendinginan cepat pada air yang diagitasi. Pemanasan tahap pertama bertujuan untuk membuat karbida berdifusi menjadi perlit. Pemanasan tahap kedua bertujuan untuk mereaustenisasi struktur material. Pada tahap ini, perlit yang terbentuk saat pemanasan tahap pertama berubah menjadi butir austenit halus yang mengandung partikel-partikel karbida berukuran kecil. Partikel-partikel karbida yang berukuran kecil tersebut tidak akan larut menjadi austenit selama pemanasan pada tahap kedua tidak melampaui temperatur 1010°C [1]. Dengan demikian, diperoleh struktur *dispersion-hardened austenite* yang memiliki sifat kekuatan,

8 November 2017

ketangguhan, dan ketahanan aus yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode perlakuan panas satu tahap. Melihat kecenderungan peningkatan ketangguhan pada metode perlakuan panas dua tahap, penulis melakukan modifikasi perlakuan panas dengan menaikkan temperatur pemanasan tahap pertama menjadi 620°C dengan tujuan melihat perubahan nilai ketangguhan pada Baja Hadfield. Selain metode perlakuan panas dua tahap yang dikembangkan oleh ASM^[1], terdapat metode lain yang mirip, yaitu metode perlakuan panas dari JIS^[3]. Metode tersebut juga merupakan metode perlakuan panas dua tahap. Pada metode JIS^[3], untuk tahap pertama, material dipanaskan pada temperatur 700°C selama 3 jam, kemudian dilanjutkan tahap kedua, yaitu material dipanaskan pada temperatur 1000°C selama 1,5 jam, dan dilakukan pendinginan cepat pada air yang diagitasi^[3]. Prinsip peningkatan ketangguhan yang digunakan pada metode perlakuan panas dari JIS^[3] sama dengan metode perlakuan panas dari ASM^[1], yaitu dengan menggunakan *dispersion-hardened austenite*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibandingkan nilai ketangguhan dan struktur mikro yang diperoleh dengan menggunakan metode perlakuan panas satu tahap dari ASM^[1], metode perlakuan panas dua tahap dari ASM^[1], metode perlakuan panas dua tahap yang modifikasi dari metode ASM^[1] dengan temperatur pemanasan tahap pertama yang lebih tinggi 25°C, dan metode perlakuan panas dua tahap dari JIS^[3].

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Mangan Austenitik GXMn12 hasil pengecoran Laboratorium Pengecoran Politeknik Manufaktur Negeri Bandung dengan menggunakan komposisi material yang mengacu kepada standar ASTM A128 *grade C*^[2].

2.2 Metode Penelitian

Pengecoran untuk sampel uji dilakukan di Laboratorium Pengecoran di Politeknik Manufaktur Bandung. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan tungku peleburan jenis induksi dengan merk Gemco Induction.

Sebelum melakukan pengecoran, cetakan dengan rangka *Y-Block* perlu disiapkan. Pola *Y-Block* ditempatkan ke dalam pasir kuarsa yang kemudian dipadatkan menjadi cetakan pasir. Logam cair dimasukkan ke dalam cetakan pasir dan ditunggu hingga terjadi solidifikasi.

8 November 2017

Sampel *Y-Block* dibuat sesuai dengan standard ASTM A436 ^[4]. Sampel uji tarik dibuat dari sampel *Y-block* dengan mengikuti standar ASTM E8M-04 ^[5]. Proses pemesinan untuk sampel uji tarik dilakukan di Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK) Bidang Mesin dan Teknik Industri Bandung. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Rekayasa Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung. Pengujian tarik pada sampel dilakukan dengan mesin uji tarik Ibertest dengan kapasitas pembebanan maksimal sebesar 10 ton. Pengujian tarik ini menggunakan kecepatan pembebanan sebesar 100 kg/s. Perlakuan panas (**Tabel 1**) dan pengujian metalografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Material, Program Studi Teknik Material, Institut Teknologi Bandung. Untuk mengetahui komposisi kimia dari baja Mangan, dilakukanlah pengujian dengan menggunakan hasil *Optical Emission Spectroscopy* (OES) yang ada di Laboratorium Pengecoran di Politeknik Manufaktur Bandung.

Pengujian tarik pada sampel dilakukan dengan mesin uji tarik bermerek Ibertest dengan kapasitas pembebanan maksimal sebesar 10 ton. Pengujian tarik ini menggunakan kecepatan pembebanan sebesar 100 kg/s. Proses metalografi diawali dengan pemotongan sampel, dilanjutkan dengan *mounting*, *grinding* dengan menggunakan kertas SiC grit 80 – 2000, *polishing* dengan Al₂O₃, dan pengetsaan dengan menggunakan Nital 3% ^[6].

Tabel 3. Proses perlakuan panas pada Baja Mangan GXMn12

No.	Jenis Sampel	Perlakuan Panas Tahap 1	Perlakuan Panas Tahap 2
1.	<i>As-Cast</i>	Tidak	Tidak
2.	<i>Heat Treated 1^[1]</i>	1100°C, 2 jam, celup cepat di air	Tidak
3.	<i>Heat Treated 2^[2]</i>	595°C, 10 jam, lanjutkan ke tahap 2	980°C, 2 jam, celup cepat di air
4.	<i>Heat Treated 3</i>	620°C, 10 jam, lanjutkan ke tahap 2	980°C, 2 jam, celup cepat di air
5.	<i>Heat Treated 4^[3]</i>	700°C, 3 jam, lanjutkan ke tahap 2	1000°C, 1,5 jam, celup cepat di air

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Karakterisasi

Hasil karakterisasi OES (*Optical Emission Spectroscopy*) sampel GXMn12 ditunjukkan pada **Tabel 2**.

8 November 2017

Tabel 4.Hasil karakterisasi sampel GXMn12

	%C	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%Si (max)	%P (max)
ASTM A128 grade C ^[2]	1,05-1,35	11,5-14,0	1,5-2,5	-	-	1,00	0,07
Hasil Peleburan	1,15	12,80	1,52	0,05	0,02	0,64	0,06

Pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa komposisi sampel sesuai dengan standar komposisi ASTM A128 grade C^[2].

3.2 Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik yang dilakukan pada sampel GXMn12 ditunjukkan pada **Tabel 3**. Nilai *approximate toughness* pada **Tabel 3** diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan **Persamaan 1**^[7].

$$\text{Approximate Toughness} = \left(\frac{\sigma_y + \sigma_u}{2} \right) \cdot \left(e_f - \frac{1}{2} e_y \right) \quad [1]$$

Keterangan : σ_y = kekuatan luluh e_y = regangan luluh

σ_u = kekuatan tarik e_f = regangan total

Nilai toughness ratio pada **Tabel 3** diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan **Persamaan 2**.

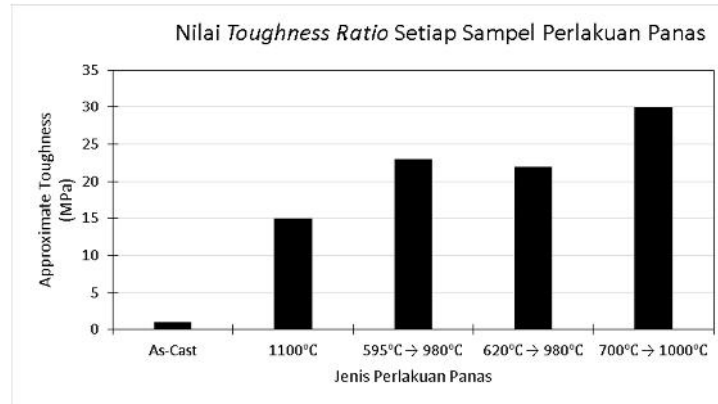
$$\text{Toughness Ratio} = \frac{\text{Approximate Toughness heat treated}}{\text{Approximate Toughness as-cast}} \quad [2]$$

Tabel 5.Hasil pengujian tarik sampel Baja Mangan.

No.	Jenis Sampel	Perlakuan Panas Tahap 1	Perlakuan Panas Tahap 2	Kekekuatan Tarik [MPa]	Elongasi [%]	Approximate Toughness [MPa]	Toughness Ratio
1.	As-Cast	Tidak	Tidak	366	4,2	850	1
2.	Heat Treated 1	1100°C, 2 jam, celup cepat di air	Tidak	578	29,5	13000	15
3.	Heat Treated 2	595°C, 10 jam, lanjutkan ke tahap 2	980°C, 2 jam, celup cepat di air	718	39,5	19500	23
4.	Heat Treated 3	620°C, 10 jam, lanjutkan ke tahap 2	980°C, 2 jam, celup cepat di air	728	37,9	19000	22
5.	Heat Treated 4	700°C, 3 jam, lanjutkan ke tahap 2	1000°C, 1,5 jam, celup cepat di air	692	54,5	26000	30

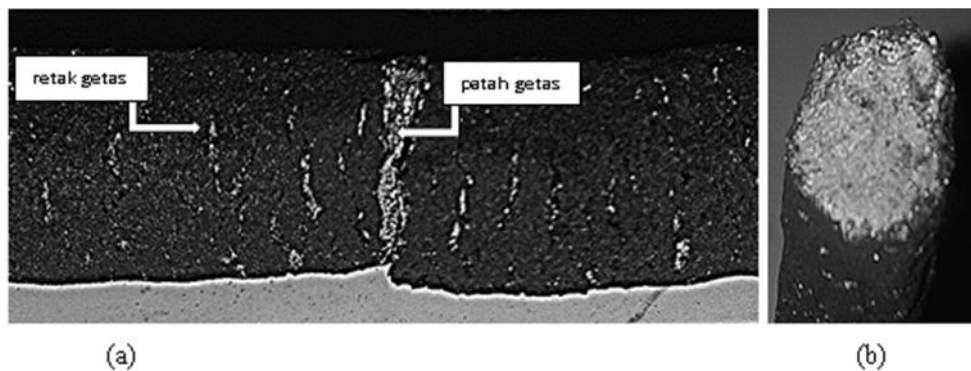
8 November 2017

Perbandingan nilai Toughness Ratio setiap sampel perlakuan panas dapat dilihat melalui **Gambar 1**.



GAMBAR 3. Kurvanilai toughness ratio setiap sampel perlakuan panas.

Kurva nilai *toughness ratio* pada **Gambar 1** menunjukkan bahwa harga *toughness ratio* pada temperatur pemanasan tahap pertama dari 595°C menjadi 620°C tidak memberikan perbedaan yang besar terhadap sifat ketangguhan Baja Hadfield. Hal tersebut ditunjukkan melalui perubahan nilai *toughness ratio* dari 23 menjadi 22. Sementara perubahan temperatur pemanasan tahap pertama dari 595°C menjadi 700°C sangat mempengaruhi perubahan nilai ketangguhan Baja Hadfield. Hal tersebut ditunjukkan melalui perubahan nilai *toughness ratio* dari 23 menjadi 30. Artinya, metode yang digunakan oleh JIS ^[3] merupakan metode perlakuan panas yang terbaik untuk meningkatkan ketangguhan Baja Hadfield. Hal itu ditunjukkan melalui perubahan nilai *toughness ratio* hingga 30 kali dari sampel *as-cast*. Bentuk patahan sampel perlakuan panas hasil pengujian tarik ditunjukkan melalui **Gambar 2**.



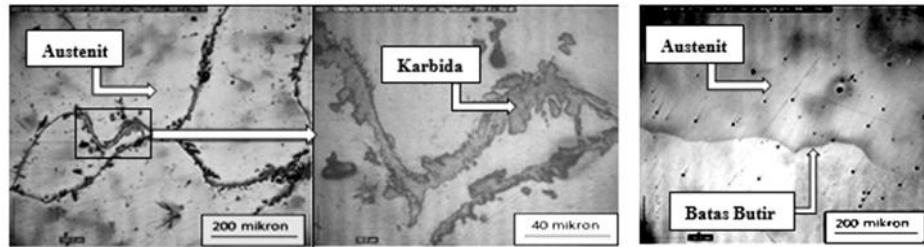
GAMBAR 4. Patah getas dan retak getas pada sampel uji tarik Baja Mangan GXMn12 (a) daerah permukaan (b) daerah penampang.

8 November 2017

Pada **Gambar 2** terlihat bahwa terdapat retak pada hampir seluruh permukaan sampel dan bentuk patahan sampel yang berupa patah getas. Patah getas dapat diidentifikasi dengan melihat permukaan patahan sampel yang tegak lurus terhadap gaya pembebanan. Selain itu, tidak adanya *necking* dan tidak terbentuknya *cup and cone* pada permukaan patahan juga menunjukkan terjadi patah getas. Sampel dengan struktur mikro austenit seharusnya memiliki bentuk patahan ulet. Retak yang terdapat pada permukaan sampel menunjukkan bahwa terjadi transformasi martensitik akibat deformasi plastis dari austenit. Transformasi martensitik ini dimulai dari permukaan material hingga ke bagian tengah penampang selama deformasi plastis terus terjadi. Akibat adanya transformasi tersebut, maka sifat material yang sebelumnya ulet berubah menjadi getas sehingga dihasilkan patah getas pada material dengan struktur mikro austenit pada temperatur ruang.

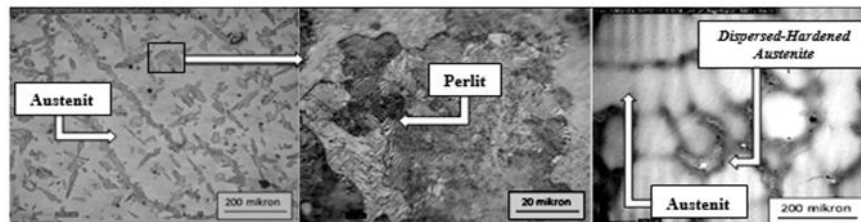
3.3 Hasil Metalografi Sampel

Hasil metalografi sampel GXMn12 yang diberikan berbagai macam perlakuan panas dapat dilihat melalui **Gambar 3-6**.



GAMBAR 5. Struktur mikro sampel as-cast.

GAMBAR 6. Struktur mikro sampel dengan perlakuan panas 1100°C, 2 jam.



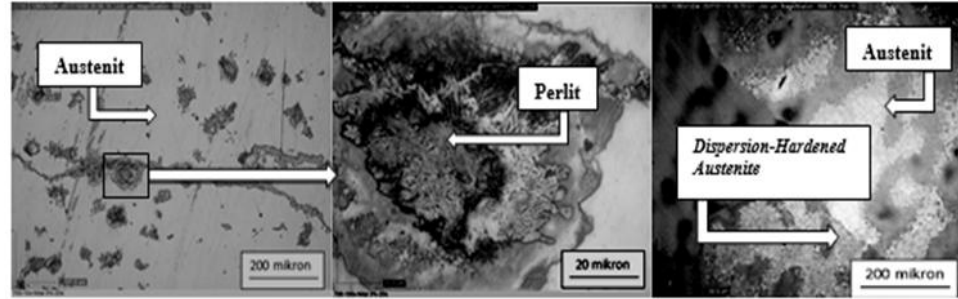
a

b

c

GAMBAR 7. Struktur mikro sampel dengan (a-b) perlakuan panas tahap 1: 595°C, 10 jam yang dilanjutkan dengan (c) perlakuan panas tahap 2: 980°C, 2 jam.

8 November 2017



GAMBAR 8. Struktur mikro sampel dengan (a-b) perlakuan panas tahap 1: 700°C, 3 jam yang dilanjutkan dengan (c) perlakuan panas tahap 2: 1000°C, 1,5 jam.

Gambar 3 menunjukkan bahwa struktur mikro yang terbentuk pada sampel *as-cast* adalah austenit dan karbida yang berada di batas butir. Karbida tersebut menyebabkan adanya *internal crack* pada saat pengujian tarik sehingga nilai kekuatan tarik dan *elongation* yang dihasilkan paling rendah. Sementara **Gambar 4** menunjukkan bahwa pada Sampel dengan perlakuan panas pada 1100°C selama 2 jam memiliki struktur mikro austenit dengan ukuran butir yang cukup besar. Selain itu, juga terlihat bahwa karbida pada batas butir yang sebelumnya terdapat pada sampel *as-cast* sudah hilang. Hal ini terjadi karena karbida yang sebelumnya ada pada batas butir terurai akibat proses *solution treatment*. Pada saat terjadi deformasi plastis ketika pengujian tarik, terjadi mekanisme penguatan karena karbida yang menyebabkan *internal crack* telah hilang^[1]. Akibatnya, ketangguhan pada hasil *heat treatment* ini akan lebih besar dibandingkan dengan hasil *as-cast*. **Gambar 5 dan Gambar 6** menunjukkan terjadinya fenomena *dispersion-hardened austenite*. Pada perlakuan panas tahap pertama yang ditunjukkan pada **Gambar 5a-b** dan **6a-b**, terbentuklah fasa perlit di batas butir yang merupakan hasil perubahan morfologi sementit akibat pemanasan yang lama pada temperatur yang tinggi. Transformasi perlit terjadi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga waktu transformasi yang dibutuhkan menjadi lebih singkat. Pada perlakuan panas tahap kedua, yaitu proses *solution treatment* pada 980°C atau 1000°C, seluruh fasa perlit akan bertransformasi menjadi austenit dengan butir austenit yang lebih halus, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5c** dan **6c**. Butir austenit yang seperti ini disebut *dispersion-hardened austenite* yang kehadirannya mengakibatkan terjadinya peningkatan kekuatan dan ketangguhan.

Dari hasil perhitungan toughness ratio pada **Gambar 1**, terlihat bahwa *toughness ratio* dari sampel perlakuan panas dua tahap dengan pemanasan tahap pertama pada temperatur 700°C selama 3 jam menghasilkan nilai toughness ratio yang jauh lebih besar dibandingkan dengan sampel perlakuan panas dua tahap dengan pemanasan tahap pertama pada temperatur 595°C dan 620°C. Hal ini kemungkinan disebabkan karena *dispersion-hardened austenite* yang terbentuk lebih halus sehingga ketangguhan yang dihasilkan lebih baik.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Metode perlakuan panas dua tahap lebih baik dibandingkan dengan metode perlakuan panas satu tahap terhadap perubahan nilai ketangguhan Baja Hadfield.
2. Metode perlakuan panas dua tahap yang terbaik untuk meningkatkan nilai ketangguhan Baja Hadfield adalah metode perlakuan panas yang digunakan oleh JIS ^[3], yaitu pada tahap pertama dilakukan pemanasan pada temperatur 700°C selama 3 jam, kemudian pada tahap kedua dilakukan pemanasan pada temperatur 1000°C selama 1,5 jam, dan dilakukan pendinginan cepat pada air yang diagitasi.

REFERENSI

- [1] A. H. Committee, ASM Metal Handbook Volume 1, USA: ASM International, 1998.
- [2] A. A128, Standard Specification for Steel Casting, Austenitic Manganese, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.
- [3] J. S. Association, JIS Handbook Ferrous Materials and Metallurgy, Japan: JIS Association, 2004.
- [4] A. A436-84, Standard Specification for Austenitic Gray Cast Iron Castings, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.
- [5] A. E8M-04, Standard Test Method for Tension of Metallic Materials [Metric] (Withdrawn 2008), West Conshohocken, PA: ASTM International, 2008.
- [6] G. F. V. Voort, Metallography Principles and Practice, New York: ASM International, 1999.
- [7] "Mechanical Properties of Material," [Online]. Available: <https://mechanicalc.com/reference/mechanical-properties-of-materials#modulus-of-toughness>. [Diakses 19 Oktober 2017].

8 November 2017

Pengaruh Penambahan CaO Dan Metakaolin Terhadap Kekuatan Tekan Campuran**Ca(OH)₂/SiO₂**

Aditianto Ramelan^{1, A)}, Abdul Rozaq^{1, B)}, Riska Rachmanty^{2, C)}, Adhi S Nugroho^{1, D)}, Frederikus Niko Sutandi^{1, E)}, & Teti Indriati^{3, F)}

¹*Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB*

²*Program Studi Magister Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB*

³*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB.*

^{a)}ramelan@material.itb.ac.id

^{b)}dullaq@yahoo.com

^{c)}rachmantyو.riska@students.itb.ac.id

^{d)}nugrohadhi37@yahoo.com

^{e)}niko_sutandi@students.itb.ac.id

^{f)}indri@mining.itb.ac.id

Abstract.

The massive use of cement in building development resulted in an environmental impact from the use of high energy and exhaust gases in its manufacturing process. Pozzolanic reaction is the reaction between the Ca(OH)₂ that is usually produce in the hydration of cement with siliceous materials, that has significant binding ability and required less energy. The experiment on the effect of CaO and metakaolin addition on Ca(OH)₂/SiO₂ mixture has been carried out to observe the pozzolanic reaction and its compressive strength of the hydrated product. The mixture was made by using ratio of Ca(OH)₂/SiO₂ of 0.2; 0.6; and 1, and were measured after 14, 21, and 28 days. In addition, CaO and metakaolin were also added to the mixture to observe the effect of alumina group on its compressive strength. Characterization were carried out using XRD to observe the existence of pozzolanic reaction. The compressive strength of Ca(OH)₂/SiO₂ samples and with CaO addition were under 1 MPa. The compound identified were Calcite, Quartz, and Portlandite. Sample with metakaolin addition has twice or three times higher which is up to 2.67 MPa. The absence of pozzolanic reaction could be easily identified by the presence of Calcium Silicate Hydrate phase. In fact sample with metakaolin addition is suspected to have a pozzolanic reaction indicated by significant increased in its strength. It is concluded that this materials still have a low strength hence could not replace conventional cement. Further study on Ca(OH)₂/SiO₂ composition should be carried out to obtain higher binding strength for building materials.

Keywords: Compressive strength, pozzolanic reaction, CaO, metakaolin, Ca(OH)₂/SiO₂.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pembangunan di berbagai daerah, penggunaan material semen sebagai material dasar mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Penggunaan material semen ini bisa ditemukan mulai dari struktur sederhana seperti lantai, perekat batu bata pada dinding hingga konstruksi lain seperti jalan, gedung, bendungan dan lain sebagainya. Penggunaan material semen sebagai material konstruksi diawali dengan adanya kebutuhan manusia dalam memenuhi kebutuhan akan material konstruksi yang memiliki kekuatan yang memadai, proses aplikasi yang mudah dan waktu aplikasi yang relatif cepat. Kemudian manusia melakukan penemuan-penemuan untuk bahan konstruksi ini mulai dari penggunaan batu kapur hingga ditemukannya material yang kita kenal sebagai semen. Meskipun material semen ini sudah lama ditemukan, namun material semen masih memiliki kekurangan. Dalam proses pembuatannya, material semen membutuhkan energi yang cukup besar dan menimbulkan polusi yang berdampak pada lingkungan[1]. Dari hal ini para peneliti mencoba berbagai cara untuk mengatasi kekurangan tersebut.

Material semen secara kimia memiliki komposisi 4 senyawa dasar yaitu C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF . Dari keempat komponen senyawa tersebut produk reaksi kimia dari semen yang umum dikenal adalah senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) dan *Calcium Hydroxide* (CH)[2]. Senyawa CSH diketahui berperan terhadap kekuatan material semen dimana faktor kekuatan adalah faktor utama. Sedangkan senyawa CH tidak berperan dalam kekuatan, melainkan membantu menjaga kestabilan bentuk dari produk semen karena mengisi celah struktur dari CSH yang berpori[3]. Dalam perkembangannya, peneliti memodifikasi material semen dengan memanfaatkan material pozolan sebagai material tambahan dan substitusi dari sebagian persen komposisi dalam material semen. Tujuan dari penambahan material pozolan adalah agar terbentuk senyawa CSH dari reaksi yang terjadi antara material pozolan dengan senyawa CH sehingga produk material semen dapat memiliki kekuatan yang lebih tinggi serta dapat mengurangi penggunaan bahan semen guna meningkatkan nilai ekonomis semen[1].

Proses pembuatan senyawa semen memerlukan pembakaran hingga temperatur $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2], sedangkan untuk membuat senyawa CH secara terpisah bisa dilakukan melalui proses dengan temperatur $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ saja[4].

8 November 2017

Dari fenomena tersebut, bila reaksi antara senyawa CH dan material pozolan bisa dilakukan terpisah dari reaksi semen dan dapat menghasilkan senyawa CSH yang dimungkinkan memiliki kekuatan sama dengan material semen, maka produksi semen dari segi energi dan polusi lingkungan dapat dikurangi serta dari segi ekonomi akan sangat menguntungkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari campuran senyawa CH dengan material pozolan tanpa penggunaan material semen. Selain itu, juga untuk mengetahui pengaruh penambahan CaO dan metakaolin pada campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ yang membuktikan ada tidaknya reaksi pozolanik.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material pozolan adalah material silika atau silika-alumina dalam bentuk halus, secara kimia dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida membentuk senyawa yang memiliki sifat semen (baik itu berupa pozolan alami ataupun buatan) [5]. Penambahan material pozolan pada material semen bertujuan supaya terjadi reaksi dengan CH dan hasil reaksi hidrasi membentuk senyawa semen baru yang meningkatkan performa. Selain sebagai bahan tambahan, material pozolan sebagai substitusi dari material semen sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi dari produk semen tanpa mengurangi performa semen tersebut [6]. Metakaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) adalah material pozolan alami yang dihasilkan dari proses memanaskan lempung mengandung kaolin pada temperatur 600-900 °C. Kereaktifan metakaolin bergantung pada kandungan kaolin dari lempung yang dipanaskan. Penggunaan metakaolin sebagai bahan campuran sudah dikenal sejak lama namun baru mengalami peningkatan setelah tahun 1985 [6].

Material pozolan memiliki karakteristik beragam, bergantung darimana material tersebut berasal. Kebanyakan material pozolan mengandung sejumlah konstituen lain selain silika seperti alumina dan besi oksida dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida dan alkali (*sodium* dan *potassium*) membentuk senyawa kompleks. Aktifitas pozolan tidak dapat ditentukan dengan kehadiran silika, alumina dan besi. Jumlah material amorf selalu menentukan kereaktifan dari material pozolan [6].

Pembuatan pasta campuran CaOH dengan SiO_2 mengacu pada Dunstan yaitu antara 0,2 sampai 1 [7]. Dari acuan tersebut digunakan komposisi 0,2; 0,6 dan 1.

8 November 2017

Komposisi penambahan CaO dan metakaolin ditetapkan sebanyak 5%; 10% dan 15%. Komposisi penambahan CaO dan metakaolin sebanyak 5%, 10% dan 15% diambil dari komposisi Ca(OH)₂ dalam campuran CaOH/SiO₂ dengan komposisi campuran 1. Perbandingan berat air yang digunakan dalam semua campuran sama yaitu 0,3 w/c.

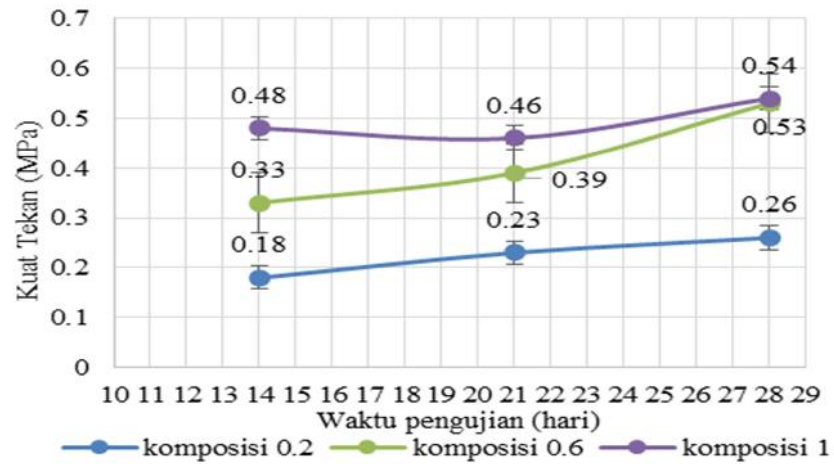
2.2 Metode

Pengujian mekanik merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengetahui karakter mekanik dari suatu material. Untuk material semen acuan utama pengujian kualitasnya adalah ASTM C 109. Spesimen yang diuji memiliki betuk kubus ukuran 2 inchi atau 50 x 50 x 50 mm, waktu pengujian dilakukan secara tertentu seperti 3, 7, 28 hari dan seterusnya[8]. Pada penelitian ini, waktu pengujian ditentukan pada 14, 21, dan 28 hari. *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode karakterisasi untuk menganalisis secara kualitatif maupun kuantitatif senyawa dari suatu material. Spesimen XRD bisa berupa serbuk (*powder*) atau kepingan (*bulk*). Skematiknya bahwa sinar X dihasilkan dari tumbukkan elektron dengan material target, umumnya tembaga (Cu). Pada penelitian ini, sulitnya mendapatkan material CaO dalam kondisi serbuk karena umumnya yang dijual sudah berbentuk batuan, karena CaO sangat reaktif terhadap udara. Proses pencampuran CaO kedalam campuran dilakukan pada kondisi kepingan atau batuan saat campuran Ca(OH)₂/SiO₂ sudah tercampur dengan air. Hal ini bertujuan agar dapat menjaga kondisi CaO tersedia dibagian dalam kepingan. Kemudian kondisi serbuk yang digunakan baik berupa Ca(OH)₂, SiO₂ dan metakaolin memiliki ukuran butir yang tidak sama, diketahui bahwa ukuran butir SiO₂ adalah 200 mesh sedangkan tidak diketahui ukuran butir untuk Ca(OH)₂ dan metakaolin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

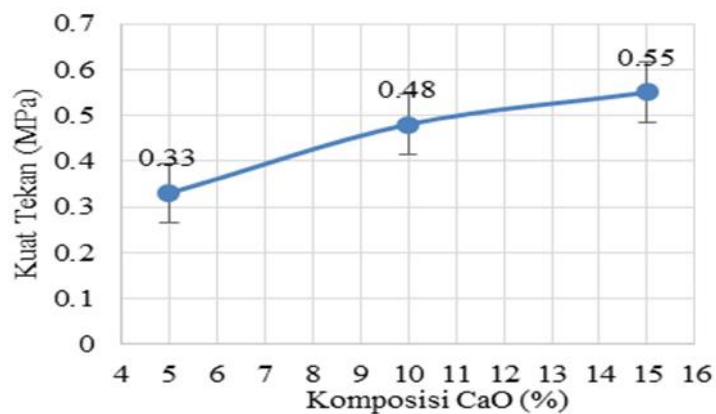
Pengujian tekan dilakukan untuk mengetahui karakter mekanik pada spesimen campuran Ca(OH)₂/SiO₂ untuk komposisi 0,2; 0,6; dan 1 pada umur 14, 21 dan 28 hari. Pengujian tekan dilakukan juga pada campuran Ca(OH)₂ + CaO (5,10,15%)/SiO₂ dan Ca(OH)₂ + metakaolin (5,10,15%)/SiO₂ untuk umur uji 14 hari. Hasil pengujian tekan spesimen didapatkan grafik sebagai berikut:

8 November 2017



Gambar 1. Kekuatan tekan untuk $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ umur 14, 21 dan 28 hari.

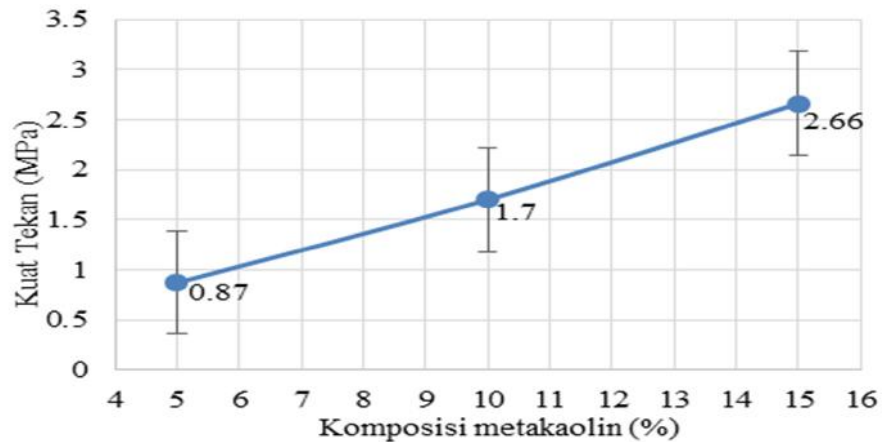
Dari gambar 1, menunjukkan kecenderungan kenaikan kekuatan tekan campuran seiring dengan bertambahnya umur dari 14, 21 dan 28 hari. Terlihat adanya fenomena penurunan kekuatan pada perbandingan komposisi campuran 1 dimana pada umur 21 hari memiliki kekuatan lebih rendah dari 14 hari. Fenomena ini dimungkinkan berasal dari faktor teknis saat pembuatan spesimen dan pengujian tekan, namun dari rata-rata hasil ketiga campuran dianggap memiliki kecenderungan yang sama. Kemudian untuk spesimen yang sama diketahui bahwa ada peningkatan kekuatan seiring dengan lamanya umur spesimen saat dilakukan pengujian. Terlihat bahwa adanya kenaikan nilai kekuatan untuk pengujian di umur 14, 21 dan 28 hari untuk komposisi 0.2, 0.6 dan 1.



Gambar 2. Kekuatan tekan untuk $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaO}$ (5, 10, 15%)/ SiO_2 umur 14 hari.

8 November 2017

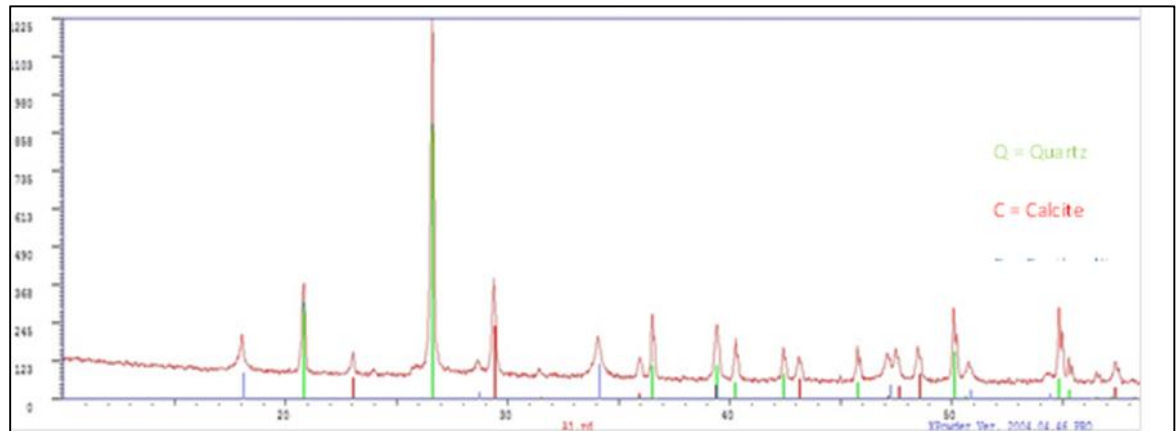
Dari hasil penambahan CaO pada campuran, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, dimana terjadi kecenderungan kenaikan nilai kekuatan tekan seiring dengan jumlah CaO yang ditambahkan pada campuran. Namun pada campuran ini nilai kekuatan tekan masih berada dibawah 1 MPA dimana dari campuran ini diketahui kekuatan tertinggi didapatkan dari penambahan 15% CaO dengan kekuatan tekan sebesar 0.55 MPA.



Gambar3. Perbandingan kekuatan tekan untuk $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{metakaolin (5, 10, 15\%)/SiO}_2$ umur 14 hari.

Demikian pula pada hasil campuran dengan adanya penambahan metakaolin. Ditunjukkan pada gambar 3, kekuatan campuran meningkat seiring dengan banyaknya jumlah metakaolin yang ditambahkan. Namun dari ketiga jenis campuran, dengan adanya penambahan metakaolin menunjukkan peningkatan kekuatan yang relatif tinggi dibanding campuran lain. Dengan pencampuran metakaolin ini didapatkan hasil kekuatan tertinggi 2.66 MPa di penambahan metakaolin 15%. Untuk mengkonfirmasi senyawa yang dikandung, dilakukan karakterisasi XRD dari spesimen $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SiO}_2$ komposisi 0.6 umur 14 hari dan $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaO}(15\%)/\text{SiO}_2$ umur 14 hari.

8 November 2017

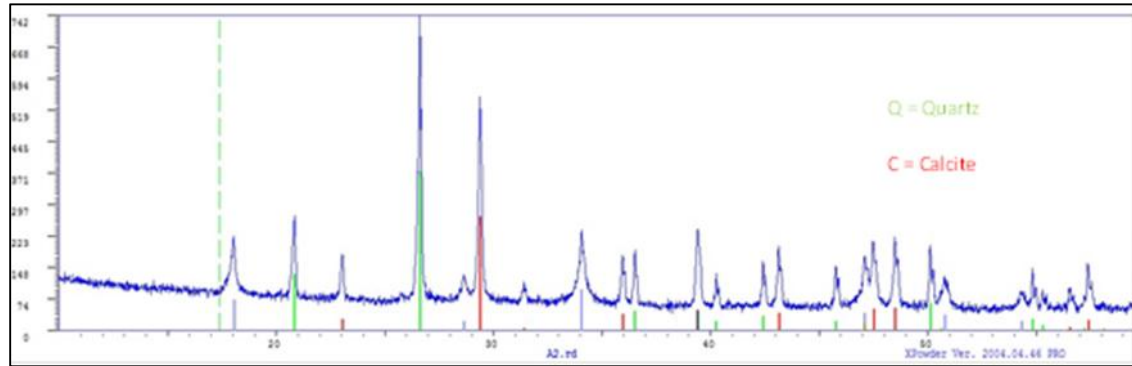


Gambar 4. Diffraktogram spesimen $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ komposisi 0.4 umur 14 hari.

Dari hasil karakterisasi XRD yang ditunjukkan pada gambar 4, bahwa teridentifikasi 3 jenis senyawa berupa *Quartz* 47%, *Calcite* 46% dan *Portlandite* 0.6%. Dari ketiga senyawa ini menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada campuran tidak seperti reaksi yang diharapkan akan terbentuk senyawa *Calcium Silicate Hydrate*. Dengan tidak adanya senyawa tersebut dimungkinkan reaksi pozolanik tidak terjadi pada campuran ini. Dari hasil ini diketahui reaksi pozolanik akan menghasilkan senyawa CSH [9] sebagai senyawa pemberi kekuatan seperti pada reaksi hidrasi semen tidak teridentifikasi. Dengan kata lain reaksi pozolanik tidak terjadi pada spesimen campuran ini. Terjadinya fenomena kekuatan dan kenaikan kekuatan seiring dengan bertambahnya komposisi Ca(OH)_2 dalam spesimen diketahui merupakan efek dari adanya fenomena reaksi karbonasi dari Ca(OH)_2 menjadi *calcite* (CaCO_3). Proses karbonasi terjadi dengan adanya gas CO_2 yang bereaksi dengan Ca(OH)_2 membentuk suatu masa padat *calcite* (CaCO_3) dan mampu memberikan efek penguatan [10].

Reaksi karbonasi dimungkinkan terjadi oleh material SiO_2 yang tidak cukup memenuhi syarat kondisi terjadinya reaksi pozolanik karena dapat diketahui dari hasil XRD bahwa SiO_2 dalam campuran ini adalah *quartz* yang merupakan bentuk kristalin dari silika (SiO_2) [11]. Material pozolan memiliki kereaktifan untuk bereaksi ketika bertemu dengan Ca(OH)_2 dengan kondisi amorf [12]. Selain itu diketahui bahwa faktor yang mempengaruhi kereaktifan suatu material pozolan diantaranya adalah kandungan komposisi senyawa, luas permukaan spesifik. Namun dari ketiga faktor tersebut diketahui bahwa faktor gugus amorf merupakan faktor yang utama sebagai faktor penentu kereaktifan suatu material pozolan [11].

8 November 2017



Gambar 5. Diffraktogram spesimen $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaO} (15\%) / \text{SiO}_2$ umur 14 hari.

Gambar 5 menunjukkan hasil karakterisasi XRD pada campuran terdapat 3 jenis senyawa berupa *Quartz* 40%, *Calcite* 32% dan *Portlandite* 27%. Pada campuran ini terjadi fenomena yang sama dengan karakterisasi pada campuran sebelumnya dimana senyawa *Calcium Silicate Hydrate* yang diharapkan terbentuk tidak terdapat dalam campuran.

Dengan tidak adanya senyawa tersebut dimungkinkan reaksi pozolanik juga tidak terjadi pada campuran ini. Penambahan senyawa CaO yang diharapkan akan meningkatkan reaksi pozolanik untuk terjadi karena ketidakstabilan CaO dianggap mampu mendorong reaksi [11], dalam kenyataannya didapatkan bahwa reaksi pozolanik tetap tidak bereaksi untuk menghasilkan senyawa yang diinginkan yaitu CSH. Pada sistem ini yang terjadi tidak jauh berbeda dengan sistem $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SiO}_2$ karena komposisi CaO yang ditambahkan akan mengalami reaksi karbonasi sebagai mana pada spesimen sebelumnya mengacu pada hasil karakterisasi XRD yang didapatkan. Sehingga dari sisi kekuatan tidak jauh berbeda dengan kekuatan campuran $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{SiO}_2$ untuk komposisi 1.

Tidak terjadinya reaksi pozolanik pada campuran ini dimungkinkan oleh beberapa factor. SiO_2 dalam campuran ini memiliki struktur kristalkristalin, dimana kereaktifan material pozolan salah satunya karena strukturnya amorf [11]. Diketahui bahwa salah satu material silika (SiO_2) yang digolongkan sebagai material pozolan adalah silika fume. Silika fume diketahui sebagai salah satu jenis material silika yang memiliki struktur amorf [13]. Ukuran partikel SiO_2 dalam campuran ini adalah 200 mesh. Ukuran ini dikelompokkan sebagai agregat halus [12]. Dengan ukuran ini dimungkinkan reaksi pozolan sulit untuk terjadi.

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Campuran dapat dibuat, namun reaksi pozolanik tidak terjadi pada spesimen campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ dan $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaO}(5,10,15\%)/\text{SiO}_2$ karena tidak adanya senyawa CSH yang teridentifikasi dari hasil karakterisasi XRD. Kekuatan tekan campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ meningkat seiring dengan penambahan Ca(OH)_2 dan umur spesimen. Komposisi campuran 0,2 memiliki kekuatan 0,18; 0,23; 0,26 MPa diumur 14, 21 dan 28 hari. Sedangkan komposisi 0,6 memiliki kekuatan 0,33; 0,39; 0,53 MPa diumur 14, 21 dan 28 hari. Komposisi 1 memiliki kekuatan 0,48; 0,46; 0,54 MPa diumur 14, 21 dan 28 hari. Spesimen dengan penambahan CaO sebanyak 5, 10, 15% memiliki kekuatan tekan 0,33(5%); 0,48(10%) dan 0,55(15%) diumur 14 hari. Reaksi pozolanik dimungkinkan terjadi pada campuran $\text{Ca(OH)}_2 + \text{metakaolin}(5,10,15\%)/\text{SiO}_2$. Kekuatan spesimen untuk campuran ini adalah 0,87(5%); 1,7(10%); dan 2.66(15%) diumur 14 hari. Penambahan komposisi Ca(OH)_2 dalam campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kekuatan tekan campuran. Umur pengujian tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kekuatan pada campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$. Penambahan CaO pada campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan kekuatan tekan campuran. Penambahan metakaolin pada campuran $\text{Ca(OH)}_2/\text{SiO}_2$ memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan kekuatan tekan campuran. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang alternatif lain sebagai bahan baku pengganti untuk konstruksi.

8 November 2017

REFERENSI

1. E. R. Grist, K. A. Paine, A. Heath, J. Norman, and H. Pinder, "The environmental credentials of hydraulic lime-pozzolan concretes," *J. Clean. Prod.*, vol. 93, pp. 26–37, 2015.
2. G. C. Bye, "Portland cement: Composition, Production and Properties", Pergamon Press, 1983.
3. S. Volume, "Calcium hydroxide in cement matrices: physico- mechanical and physico-chemical contributions Beaudoin, J.J. NRCC-44493," no. November, pp. 131–142, 2000.
4. F. C. Jentoft, "Thermal Treatment of Catalysts," 2003.
5. American Concrete Institute (ACI) 318-14, 2014, "Building Code Requirements for Structural Concrete".
6. D. Y. Osei and E. N. Jackson, "Compressive strength and workability of concrete using natural pozzolana as partial replacement of ordinary portland cement," vol. 3, no. 6, pp. 3658–3662, 2012.
7. E. R. Dunstan, "How Does Pozzolanic Reaction Make Concrete Green?," 2011 World Coal Ash Conf., pp. 1–14, 2011.
8. M. Cabinets, M. Rooms, B. Statements, and D. Mass, "Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens 1," pp. 1–9, 2008.
9. J. Setina, A. Gabrene, and I. Juhnevica, "Effect of Pozzolanic Additives on Structure and Chemical Durability of Concrete," *Procedia Eng.*, vol. 57, pp. 1005–1012, 2013.
10. P. Taylor, H. V Kale, and H. V Kale, "Transactions of the Indian Ceramic Society Lime-Pozzolana Reactions and Evaluation of Pozzolanas Lime-Pozzolana Reactions and Evaluation of Pozzolanas," no. January 2015, pp. 1–4, 2014.
11. R. Walker and S. Pavía, "Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes," *Mater. Struct.*, vol. 44, no. 6, pp. 1139–1150, 2011.
12. S. K. Terrigenous, "Sedimen Klastik Terrigenous : Kerikil, Pasir dan Lumpur (Terrigenous clastic sediments: gravel, and sand," 2017.
13. M. Resources, "Silica fume analysis - A preliminary report," pp. 1–16, 1991.

8 November 2017

Pengaruh Waktu *Blending* Mekanik Terhadap Karakteristik Serat Selulosa Dari Sekam Padi Hasil *Bleaching*

Aldhi Saputro^{1a}, Imelda Verawati^{1b}, Rizkijanuar Ramadhan Saputro^{1c}, Ghiska Ramahdita^{1d}
& Mochamad Chalid^{1e*}

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, Depok.

a) aldhi.saputro@ui.ac.id b) imelda.verawati@ui.ac.id c) rizkijanuar.ramadhan@ui.ac.id

d) ghiska@metal.ui.ac.id e*) chalid@metal.ui.ac.id

Abstract.

Micro Fibrillated Cellulose (MFC) has been prepared through mechanic *blending* method. Cellulose fiber used in this study was a pre-treated rice husk fiber (*Oryza sativa L.*). The pre-treated rice husk fiber, containing cellulose fiber, was fibrillated by mechanic *blending* with various time (10, 20, and 30 minutes), at ± 11.000 rpm speed. The pre-treated rice husk fiber and the blended fiber was then characterized by Fourier Transform Infrared (FTIR) to determine the compound compositions, Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) to observe morphological behavior, and X-ray Diffraction (XRD) to measure crystallinity of the fiber. FTIR measurements showed that the *blending* mechanic method did not change the compositions of the compound. FESEM images showed that the pre-treated rice husk fiber was successfully fibrillated, and XRD measurement revealed an increasing crystallinity with maximum index 70.1%.

Keywords: blending, micro fibrillated cellulose, rice husk fiber

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan senyawa utama penyusun tumbuhan dan memberikan kekuatan serta stabilitas pada dinding tumbuhan. Selulosa memiliki struktur rantai linier yang berbentuk cincin dari dan tersusun dari molekul-molekul glukosa (β -D-Glucose) yang berulang-ulang. Hal ini dikonfirmasi dari kehadiran gugus hidroksil (-OH) yang turut serta memberikan kekuatan baik ikatan intramolekular maupun intermolekular.

8 November 2017

Selulosa memiliki potensi aplikasi penggunaan yang luas karena harganya relatif murah, dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan/terdegradasi secara alami. Selulosa dapat digunakan untuk aplikasi penguat pada material komposit, biomaterial (penghantar obat), penyimpanan energi (separator pada baterai), sel surya (sebagai substrat), dan sumber bahan baku ethanol. Karena potensi penggunaan yang luas, berbagai upaya dilakukan untuk mengisolasi serat-serat alam menjadi selulosa dan mengkonversinya menjadi berbagai varian bentuk seperti mikro selulosa terfibrilisasi, mikro kristalin selulosa, nano selulosa terfibrilisasi, dan nano kristalin selulosa terus dilakukan. Terdapat dua rute konversi selulosa menjadi mikro/nano selulosa yaitu rute kimiawi (menggunakan asam kuat) dan rute mekanik. Karena menggunakan asam kuat yang cenderung bersifat racun dan berbahaya bagi lingkungan, rute mekanik menjadi topik yang menarik untuk diteliti.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Serat sekam padi(*Oryza sativa L.*) diperoleh dari petani lokal di daerah Kecamatan Giritontro, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah yang telah diberi perlakuan kimia awal (alkalinisasi dan pemutihan / *bleaching*).

2.2 Metode

Serat sekam padi yang telah dipreparasi menggunakan perlakuan kimia alkalinisasi dan pemutihan diberi perlakuan *blending* mekanik menggunakan *blender* konvensional(*Oxone ox-292*). Proses *blending* mekanik dilakukan dengan kecepatan putar 11.000-12.000 rpm, pada temperatur ruang 20-25 °C, variasi waktu yang dipilih yaitu 10, 20 dan 30 menit, serta rasio serat dengan pelarut air yaitu 2 % fraksi berat. Hasilnya disimpan untuk selanjutnya dikarakterisasi.

2.3 Karakterisasi

Sampel serat sekam padi hasil perlakuan kimia awal dan serat sekam padi hasil perlakuan *blending* mekanik dikarakterisasi guna mengetahui beberapa sifat yang dimiliki. Karakterisasi yang digunakan antara lain *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

8 November 2017

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawaan serat sekam padi sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan *blending* mekanik. Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan *Perkin-Elmer FTIR Spectrometer*. Masing-masing sampel diuji dari nomor gelombang 500-4000 cm^{-1} .

Pengujian SEM dilakukan untuk mengobservasi perubahan morfologi baik berupa diameter maupun permukaan dari serat sekam padi sebelum dan sesudah perlakuan *blending* mekanik. Pengujian SEM dilakukan dengan menggunakan *SEM FEI QUANTA 650 EDAX EDS Analyzer*. Sampel diuji tanpa preparasi pelapisan karena menggunakan teknologi *low vacuum* dengan voltase 20 kV.

Pengujian XRD dilakukan dengan untuk mengetahui kristalinitas sekam padi sebelum dan sesudah perlakuan *blending* mekanik. Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan *Phillips X-ray Diffractometer* (radiasi Cu K- α 1.5418 Å; 40 kV, 40 mA dengan step-size 0.02° dan *time/step* sebesar 20 detik). Kristalinitas sekam padi dilakukan dengan menghitung kurva XRD menggunakan persamaan Segal:

$$CrI(\%) = \frac{I_{002} - I_{amp}}{I_{002}} \times 100\% \quad (1)$$

Di mana I_{002} adalah intensitas maksimum (002) puncak difraksi kisi dan I_{am} adalah intensitas pancaran dari bagian amorf material. Puncak difraksi untuk (002) berlokasi di sudut difraksi $2\theta = 22.5^\circ$ dan intensitas bagian amorf diukur pada intensitas terendah disudut difraksi $2\theta = 18^\circ$. Serta persamaan Scherrer:

$$t = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

Di mana t adalah ukuran kristal rata-rata, λ adalah panjang gelombang X-ray, θ adalah sudut difraksi dan B adalah pelebaran berdasarkan *full-width at half maximum* (FWHM) puncak difraksi dalam satuan radian. Dalam penggunaan persamaan ini, dipertimbangkan efek pelebaran (*broadening*) tambahan pada puncak-puncak difraksi karena faktor instrumen dan regangan selulosa. Sementara Daftar kode sampel terdapat pada Table 1.

8 November 2017

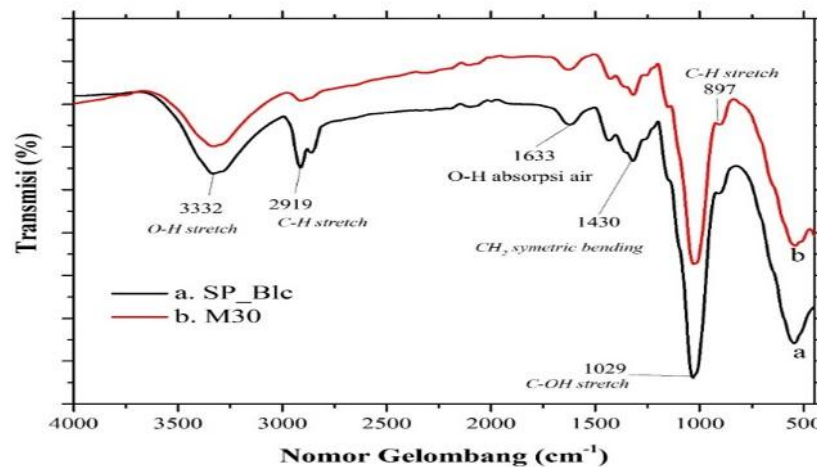
TABEL1. Daftar kode sampel

Sampel	Jenis Perlakuan
SP_Blc	Sampel serat Sekam Padi hasil pemutihan
M10	Sampel Selulosa hasil <i>blending</i> mekanik waktu 10 menit
M20	Sampel Selulosa hasil <i>blending</i> mekanik waktu 20 menit
M30	Sampel Selulosa hasil <i>blending</i> mekanik waktu 30 menit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komposisi Senyawaan dari Serat Sekam Padi

Pengujian komposisi senyawaan dilakukan dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui pengaruh perlakuan *blending* terhadap komposisi senyawaan selulosa. Hasilnya terdapat pada Gambar 1.



GAMBAR 9. Kurva spektrum FTIR serat sekam padi hasil pemutihan sebelum dan sesudah perlakuan *blending* mekanik dengan waktu 30 menit

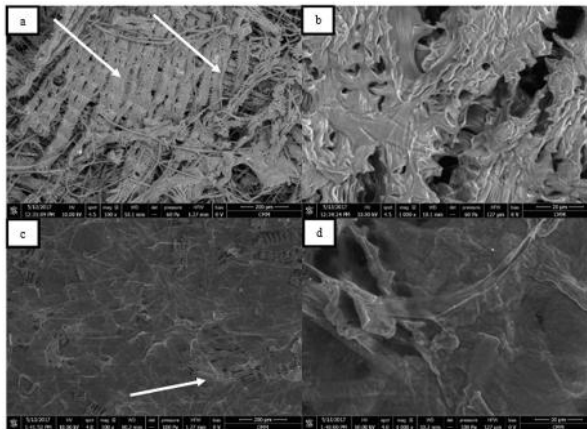
Gambar 1 merupakan kurva FTIR hasil perlakuan selulosa setelah dilakukan *blending* mekanik selama 30 menit dan sampel awal yang merupakan hasil pemutihan disertakan sebagai pembanding. Hasilnya menunjukkan tidak terjadi perubahan persenyawaan. Semua sampel menunjukkan pola-pola puncak yang sama. Puncak-puncak seperti 3332 cm⁻¹ (gugus fungsi hidroksil -OH); 2919 cm⁻¹ (ikatan C-H); 1633 cm⁻¹ (gugus -OH dari absorpsi air); 1430 cm⁻¹ (ikatan simetri CH₂); 1029 cm⁻¹ (ikatan simetri C-OH) dan 897 cm⁻¹ (gugus C-H) [1].

8 November 2017

Puncak-puncak tersebut merepresentasikan senyawaan oleh selulosa. Tidak terdapat puncak-puncak yang signifikan berbeda dengan pemutihan). Hal ini dikarenakan tidak digunakannya zat kimia dalam prosesnya. Sehingga tidak terjadi reaksi kimia pada selulosa. *Blending* mekanik memanfaatkan gaya geser yang dihasilkan dari bilah/mata potong dari blender. Gaya geser tersebut diperkirakan digunakan untuk pemutusan ikatan glukosida. Akan tetapi, pemutusan ikatan glukosida tersebut tidak secara signifikan mengubah komposisi persenyawaan yang terdapat pada selulosa.

3.2 Perilaku Morfologi dari Serat Sekam Padi

Pengaruh perlakuan *blending* mekanik terhadap perilaku morfologi selulosa dari serat sekam padi hasil pemutihan dilakukan dengan menggunakan SEM. Hasilnya terdapat pada Gambar 2a-d.



GAMBAR 10. Morfologi serat sekam padi a-b) hasil pemutihan 100x dan 1000x, c-d) hasil *blending* mekanik 100x dan 1000x

Gambar 2a-d merupakan morfologi serat selulosa dari sekam padi hasil pemutihan sebelum dan sesudah dilakukan *blending* mekanik dengan waktu 30 menit dengan variasi perbersaran 100-1000x. Gambar 2a. menunjukkan serat selulosa dari sekam padi hasil pemutihan yang tampak masih 'teranyam' satu sama lain. Pola-pola tersebut masih sangat besar dan jelas terlihat (lihat anak panah). gambar 2a juga menunjukkan fenomena serat selulosa yang mulai terfibrilisasi. Hal ini disebabkan perlakuan pemutihan sukses menghilangkan sebagian besar kandungan lignin yang bertindak sebagai jembatan ester selulosa dan berperan sebagai pengikat dari komponen antar serat [1].

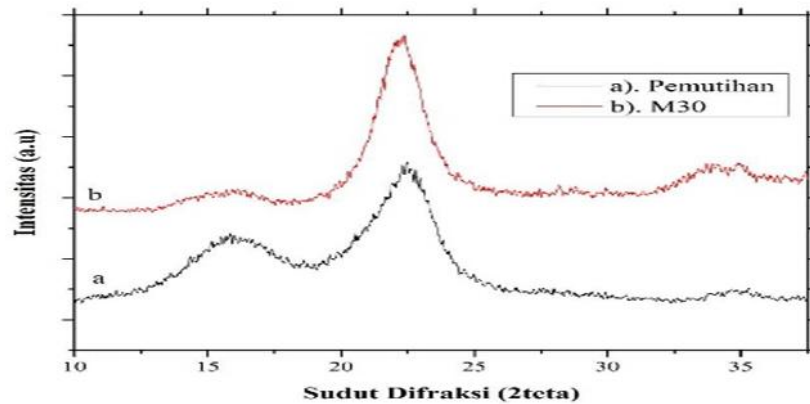
8 November 2017

Sementara Gambar 2b menunjukkan perbesaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gambar 2a. hasilnya menunjukkan bentuk yang masih tidak beraturan. Hal ini disebabkan serat selulosa masih terbungel satu sama lain sehingga morfologi serat selulosa yang umumnya seperti benang-benang fibril belum tampak terlihat. Gambar 2c menunjukkan serat selulosa hasil perlakuan *blending* mekanik dengan perbesaran 100x. Bila dibandingkan dengan Gambar 2d, Gambar 2c menunjukkan serat selulosa yang sudah terfibrilisasi namun masih terdapat spot-spot kecil yang belum terfibrilisasi (lihat tanda panah). Hal ini disebabkan gaya geser yang dihasilkan dari bilah blender sukses memutus ikatan glukosida antar fibril sehingga menyebabkan defibrilisasi terjadi pada serat selulosa. Sementara gambar 2d menunjukkan morfologi serat selulosa yang sudah tidak tampak berbentuk serat-serat tunggal. Hal ini diperkirakan karena serat selulosa mengalami defibrilisasi menuju ukuran nano fibril. Namun, bentuk nano selulosa terfibrilisasi tersebut teraglomerasi kembali menjadi bentuk yang tidak beraturan seperti yang terdapat pada Gambar 2d. Observasi serupa seperti yang dilaporkan oleh A. Saputro dkk (2017) pada serat Ijuk menggunakan asam sulfat kuat [2].

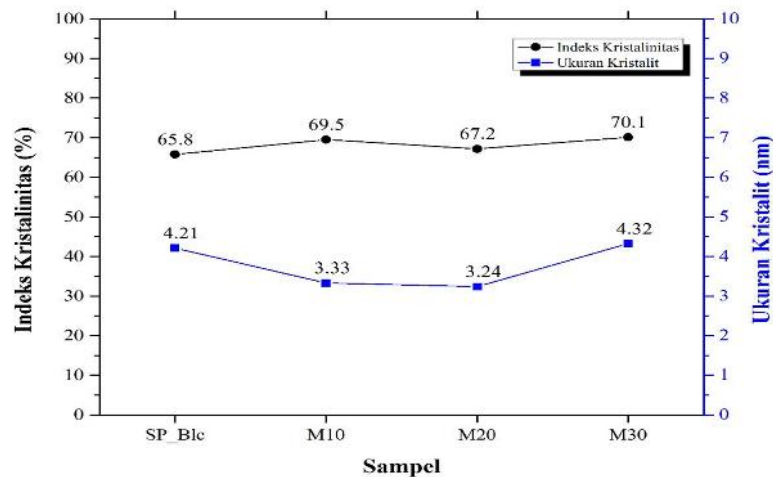
3.3 Kristalinitas Serat Sekam Padi

Evaluasi perubahan selulosa akibat perlakuan *blending* mekanik terhadap kristalinitas dan ukuran kristalit diobservasi dengan melakukan pengujian XRD. Hasil pengujian tersebut di analisis dengan mengukur ukuran kristalit dan indeks kristalinitas menggunakan persamaan Segel dan Persamaan Scherrer (Persamaan 1 dan 2). Hasil pengujian XRD terdapat pada Gambar 3. Sementara kurva kalkulasi XRD terdapat pada Gambar 4.

8 November 2017



GAMBAR 11. Kurva XRD serat sekam padi hasil pemutihan sebelum dan sesudah *blending* mekanik 30 menit



GAMBAR 12. Kalkulasi indeks kristalinitas dan ukuran kristalit pada serat sekam padi hasil pemutihan sebelum dan sesudah *blending* mekanik variasi waktu 10, 20, dan 30 menit

Gambar 3 merupakan kurva XRD dari serat sekam padi hasil pemutihan sebelum dan sesudah *blending* mekanik dengan waktu 30 menit. Hasilnya menunjukkan menunjukkan pada semua sampel memiliki pola difaksi yang serupa yaitu puncak pada 22.5° , 16° dan 35° . Puncak tersebut representasi dari bidang (200), (110), dan (004) yang menunjukkan fasa Selulosa I β dengan struktur monoklinik [3]. Intensitas puncak utama pada 22.5° meningkat seiring dengan perlakuan *blending* mekanik yang telah dilakukan.

8 November 2017

Hal ini disebabkan pendefibrilisasi serat sehingga meningkatkan intensitas puncak pada 22.5° . Proses defibrilisasi menghilangkan ikatan yang bertindak sebagai jembatan antara satu serat fibril dengan fibril lain. Diperkirakan pada daerah tersebut memiliki struktur amorfus karena sisa-sisa hemiselulosa dan lignin yang bertugas sebagai pem'bundel' pada antar fibril [1]. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan morfologi yang telah dibahas sebelumnya. Sehingga dapat disimpulkan defibrilisasi serat selulosa menyebabkan peningkatan intensitas puncak 22.5° pada kurva XRD.

Gambar 4 merupakan hasil kalkulasi indeks kristalinitas dan ukuran kristalit menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2. Hasilnya menunjukkan terjadi peningkatan indeks kristalinitas setelah dilakukan perlakuan *blending* mekanik. Nilai indeks kristalinitas tertinggi terdapat pada perlakuan mekanik dengan waktu 30 menit yaitu sebesar 70.1%. Sementara nilai indeks kristalinitas terendah terdapat pada selulosa hasil pemutihan dengan nilai 65.8%. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan *blending* mekanik mampu menghancurkan selulosa amorfus. Dengan hilangnya sebagian amorfus menyebabkan peningkatan nilai kristalinitas. Gambar 4 juga menunjukkan peningkatan ukuran kristalit setelah dilakukan *blending* mekanik dengan waktu 30 menit. Hal ini disebabkan dengan waktu *blending* mekanik yang semakin lama menyebabkan terputusnya ikatan glykosidik di daerah amorfus. Akibat, terjadi pelepasan kristalit- kristalit. Akan tetapi, kristalit-kristalit tersebut diperkirakan tersusun kembali secara paralel sehingga menyebabkan peningkatan ukuran kristalit. Fenomena peningkatan ukuran kristalit dan kristalinitas juga dilaporkan oleh Lu, P dkk pada serat batang padi [4] dan juga dilaporkan oleh Chandra, J dkk [5].

4. KESIMPULAN

1. Perlakuan *blending* mekanik yang telah dilakukan tidak mengubah komposisi senyawaan serat sekam padi hasil pemutihan
2. Perlakuan *blending* mekanik berhasil memfibrilisasi serat sekam padi hasil pemutihan menjadi serat mikro selulosa terfibrilisasi
3. Perlakuan *blending* mekanik berhasil memfibrilisasi serat sekam padi hasil pemutihan sehingga menyebabkan peningkatan indeks kristalinitas dan ukuran kristalit pada serat.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini merupakan penelitian yang didanai oleh Kementerian Riset dan Teknologi (kemenristek) DIKTI pada tahun 2017 melalui kegiatan Program Kreativitas Mahasiswa.

REFERENSI

1. N. Johar, I. Ahmad and A. Dufresne, "Extraction, preparation and characterization of cellulose fibres and nanocrystals from rice husk," *Industrial Crops and Products*, vol. 37, p. 93–99, 2012.
2. A. Saputro, I. Verawati, G. Ramahdita and M. Chalid, "Preparation of microfibrillated cellulose based on sugar palm ijuk (*Arenga pinnata*) fibres through partial acid hydrolysis," in *International Conference on Innovation in Polymer Science and Technology*, Medan, 2017
3. R. Moon, A. Martini, J. Nairn, J. Simonsen and J. Youngblood, "Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites," *Chem Soc Rev*, vol. 40, pp. 3941-3994, 2011.
4. P. Lu and Y. Hsieh, "Preparation and characterization of cellulose nanocrystal from rice straw," *Carbohydrate Polymer*, vol. 87, pp. 564-573, 2012.
5. J. Chandra, N. George and S. K. Narayanankutty, "Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from arecanut husk fibre," *Carbohydrate Polymers*, vol. 142, pp. 158-166, 2016.

Pengaruh Penambahan Aditif Silika (SiO₂) Pada *Coating* Lignin Terhadap Performa Daya Lekat, Kekerasan Dan Fleksibilitas

Adam D. Tanjung^{1, A)}, Mardiyati^{1, B)}, & Septian D. Putra^{2, C)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

²Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi dan Sains Bandung, Bekasi.

a) adamtanjung95@students.itb.ac.id b) mardiyati@material.itb.ac.id

c) septiandwimisch@gmail.com

Abstract.

Lignin is considered as one of the most abundant biomacromolecules in the world and indicates potential use as coating. Adding additive improves particular property of coating; however, the quantity variation of additive must be investigated. This research investigated the effect of silica (SiO₂) addition in lignin coating on adhesive strength, hardness, and flexibility properties. Hardwood organosolv lignin was used for the coating production and the silica was prepared from rice husk ash. Lignin-silica coatings applied by spreading method to steel substrates which was prepared by pickling previously. Lignin was dissolved by ethanol and silica addition varied in 0%, 7.5%, 10% and 12.5% wt. Pull-off test was performed to measure adhesive strength. The hardness of lignin-silica coatings were investigated by pencil hardness test. Cylindrical mandrel bend test was used to evaluate the flexibility property. In order to observe interface, coating surface, and silica distribution, coatings were characterized by Scanning Electron Microscope (SEM). Silica addition increased coating thickness in addition to improving adhesive strength while it unaffected hardness and flexibility properties. Coating thicknesses varied from 66,67 μm to 97,83 μm. Coatings containing 10% and 12,5% wt silica presented the highest adhesive strength which was 0,67 MPa. All coatings showed hardness valued around 8B-9B (<3.09 HK) and withstood 20 mm mandrel bend without fully peeled.

Keyword : additive, coating, lignin, organosolv, silica

1. PENDAHULUAN

Lignin merupakan salah satu biomakromolekul yang paling berlimpah di dunia [1]. Lignin bersama dengan selulosa dan hemiselulosa membentuk komposit alami yang disebut sistem lignoselulosa yang merupakan bahan penyusun utama dinding sel tumbuhan [2]. Sumber lignin yang potensial dimanfaatkan adalah kayu. Salah satu kayu yang dapat dimanfaatkan adalah kayu meranti karena jumlah produksinya yang melimpah di Indonesia [3]. Penelitian mengenai metode ekstraksi lignin, sumber lignin dan pemanfaatan lignin terus dilakukan. Salah satu metode ekstraksi yang banyak diteliti adalah *organosolv lignin* karena dapat menghasilkan lignin dengan kemurnian tinggi dan kadar sulfur yang rendah [4]. Organosolv lignin dapat dimanfaatkan sebagai *binder coating* karena memiliki kedua sifat tersebut [5].

Coating merupakan berbagai jenis material yang diaplikasikan pada permukaan substrat dan membentuk lapisan tipis yang kontinu [6]. Sedangkan *binder coating* adalah komponen utama dari *coating* yang menyebabkan *coating* memiliki kemampuan untuk membentuk lapisan tipis yang padat, menempel pada substrat dan sifat lainnya tergantung penggunaannya [7]. Untuk memperbaiki sifat *coating* atau mendapatkan sifat tertentu, aditif dapat ditambahkan ke dalam *coating*. Salah satu aditif yang dapat digunakan adalah silika (SiO₂) karena memiliki kekerasan yang tinggi sehingga berpotensi meningkatkan kekerasan *coating*. Silika dapat diekstraksi abu sekam padi karena jumlahnya yang melimpah di Indonesia dan memiliki kandungan oksida pengotor yang rendah [8]. Penelitian mengenai *coating* yang berbahan dasar lignin masih sangat minim di Indonesia sedangkan kebutuhan *coating* di Indonesia masih belum terpenuhi oleh produksi *coating* nasional. Indonesia masih kekurangan 8 juta liter *coating* pertahunnya sehingga masih harus impor untuk memenuhinya [9].

Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *coating* berbahan dasar lignin yang diekstraksi dari limbah serbuk kayu meranti. Kemudian aditif silika yang diekstraksi dari abu sekam padi ditambahkan ke dalam *coating*. Selanjutnya *coating* diuji performa daya lekat, kekerasan dan fleksibilitasnya untuk menentukan pengaruh penambahan aditif silika pada *coating* lignin.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

8 November 2017

Lignin yang digunakan sebagai *binder coating* merupakan lignin yang diekstraksi dari limbah serbuk kayu meranti PD Kharisma Multi Mandiri. Lignin diekstraksi dengan metode lignin organosolv dengan konsentrasi pelarut etanol 83,33%. Silika yang digunakan merupakan silika yang diekstraksi dari abu sekam padi melalui proses ekstraksi alkalis dengan larutan NaOH dan dikalsinasi pada temperatur 700°C selama 3 jam. Substrat *coating* yang digunakan adalah pelat baja karbon rendah komersil yang diperoleh dari Pasar Jatayu Bandung.

2.2 Metode

2.2.1. Proses Pembuatan Coating

Coating lignin dibuat dengan melarutkan lignin pada etanol dengan perbandingan massa lignin : etanol adalah 1:4. Etilen glikol 15% dari massa lignin sebagai *plasticizer*. Lalu larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga lignin larut seluruhnya. Setelah lignin larut seluruhnya, silika ditambahkan pada berbagai variasi massa lalu diaduk selama 2 menit. Variasi penambahan silika dan penamaan sampel *coating* lignin-silika ditunjukkan oleh Tabel 1.

TABEL 1. Penamaan sampel *coating* lignin-silika

Nama Sampel	Definisi
LS 0	<i>Coating</i> lignin tanpa penambahan silika
LS 7,5	<i>Coating</i> lignin dengan penambahan 7,5% wt silika
LS 10	<i>Coating</i> lignin dengan penambahan 10% wt silika
LS 12,5	<i>Coating</i> lignin dengan penambahan 12,5% wt silika

Kemudian larutan *coating* diaplikasikan ke substrat baja dengan metode penuangan atau *spreading*. Baja yang digunakan sebelumnya telah diampelas hingga *grid* 2000 dan melalui pembersihan asam atau *pickling* HCl 15%.

2.2.2. Pengukuran Ketebalan

Pengukuran ketebalan *coating* dilakukan dengan menggunakan metode *eddy current thickness measurement*. Alat yang digunakan adalah Elcometer 456.

2.2.3. Pengujian Daya Lekat

8 November 2017

Pengujian kekuatan lekat dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D 4145 menggunakan alat *pull off* dengan kapasitas maksimum *pull off* sebesar 7 MPa, diameter *dolly* 20 mm dan lem araldite (epoksi). Pengujian dilakukan setelah lem yang direkatkan melalui *dolly* ke substrat dibiarkan selama tiga hari.

2.2.4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3363 menggunakan alat uji kekerasan *pencil scratch test* dengan berbagai tingkat kekerasan pensil mulai dari yang ter lunak hingga yang terkeras (9B-9H), Pengujian dilakukan hingga didapatkan pensil terkeras yang tidak dapat merusak *coating*.

2.2.5. Pengujian Fleksibilitas

Pengujian fleksibilitas dilakukan dengan *cylindrical mandrel bend test* berdasarkan ASTM D 522. *Mandrel* yang digunakan berdiamter 20 mm.

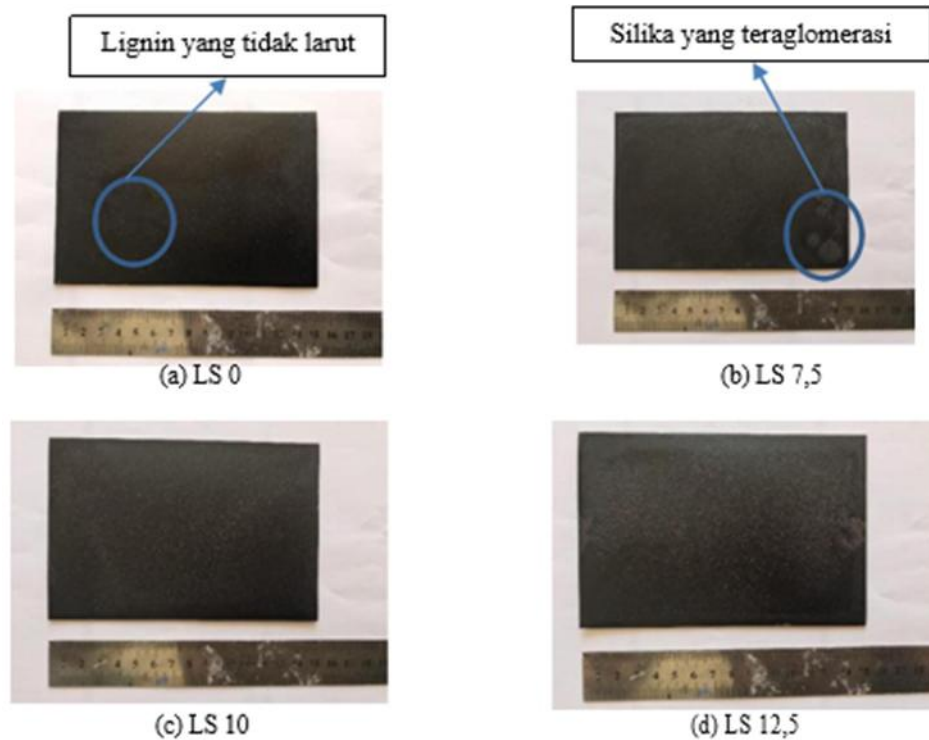
2.2.6. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Proses karakterisasi *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dilakukan tampak atas dan *cross section coating* lignin-silika. Sampel yang dikarakterisasi SEM hanya LS 0 dan LS 12,5.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Visual

8 November 2017



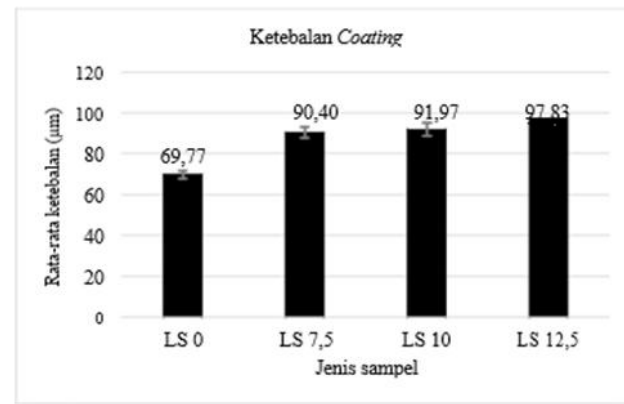
GAMBAR 1. Penampakan visual sampel *coating* (a) LS 0; (b) LS 7,5; (c) LS 10; dan (d) LS 12,

Dari pengamatan visual yang ditunjukkan Gambar 1 terlihat bahwa semua permukaan *coating* yang terbentuk memiliki permukaan yang kasar. Kekasaran permukaan tersebut dipengaruhi oleh adanya lignin yang tidak larut dan silika yang teraglomerasi. Lignin yang tidak larut akan terlihat seperti butiran yang berwarna hitam sedangkan silika akan terlihat butiran yang berwarna lebih terang atau putih. Lignin yang tidak larut ditunjukkan oleh Gambar 1 (a) sedangkan silika yang teraglomerasi dipermukaan ditunjukkan oleh Gambar 1 (b).

3.2 HASIL PENGUJIAN COATING

3.2.1 PENGUKURAN KETEBALAN

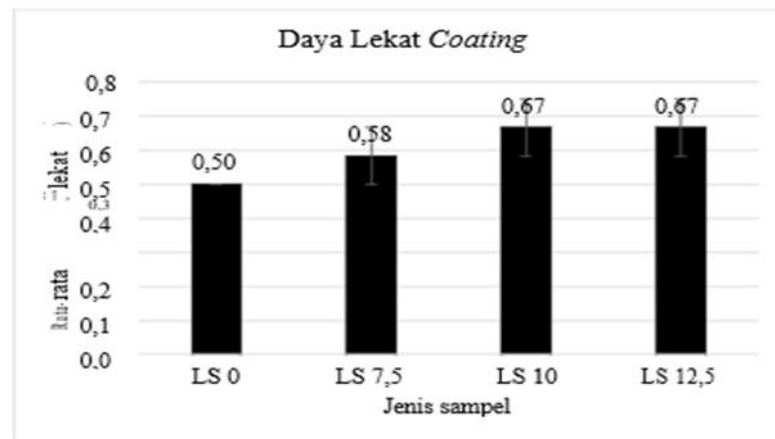
8 November 2017



GAMBAR 2. Ketebalan *coating* lignin pada berbagai variasi penambahan silika

Dari Gambar 2 terlihat bahwa ketebalan tertinggi didapatkan pada LS 12,5 yaitu 97,83 µm dan ketebalan terendah didapatkan pada LS 0 yaitu 69,77 µm. Selain itu dapat terlihat juga bahwa penambahan silika meningkatkan ketebalan *coating*. Hal ini disebabkan ukuran silika yang masih relatif besar dan teraglomerasi seperti yang terlihat pada analisa visual permukaan *coating*. Ketebalan *coating* dapat mempengaruhi sifat *coating* lainnya seperti fleksibilitas.

3.2.1 PENGUJIAN DAYA LEKAT



GAMBAR 3. Daya lekat coating lignin-silika

Dari Gambar 3 terlihat bahwa daya lekat tertinggi diperoleh pada LS 10 dan LS 12,5 dan penambahan silika relatif meningkatkan daya lekat *coating*. Kemungkinan peningkatan daya lekat *coating* tidak terjadi secara *mechanical interlocking* karena ukuran silika yang masih relatif besar sehingga sulit untuk masuk ke dalam celah substrat atau melapisi seluruh permukaan substrat.

8 November 2017

Peningkatan daya lekat tersebut dipengaruhi oleh ikatan sekunder yang terbentuk antara silika dengan lignin dan substrat baja. Kemampuan silika membentuk ikatan sekunder lebih baik atau mampu berikatan lebih banyak dibandingkan dengan lignin sehingga daya lekatnya meningkat.

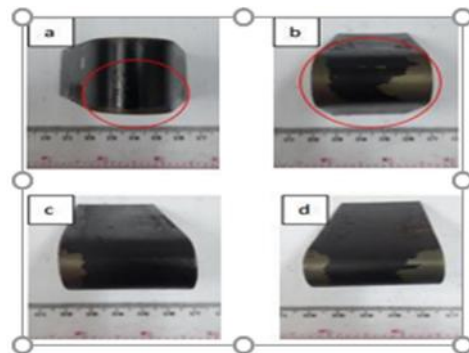
3.2.1 Pengujian Kekerasan

TABEL 2. Hasil pengujian kekerasan coating

<i>Coating</i>	<i>Pencil Hardness</i>	HK (Hardness Knoop)	
LS 0	9B	<	3,09
LS 7,5	9B	<	3,09
LS 10	8B	<	3,09
LS 12,5	8B	<	3,09

Dari Tabel 2 dapat diamati bahwa semua sampel *coating* memiliki kekerasan yang rendah yaitu berkisar antara 9B-8B atau lebih rendah dari 3,09 HK. Penyebabnya yaitu permukaan yang kasar sehingga ketika pensil digoreskan ke permukaan *coating*, aglomerat di permukaan *coating* ikut terdorong dan menyebabkan pengelupasan. Dalam *pencil scratch test*, kehalusan permukaan sangat diperlukan agar nilainya *valid*.

3.2.2 Pengujian Fleksibilitas



TABEL 3. Data hasil pengujian fleksibilitas *coating*

<i>Jenis coating</i>	<i>Diameter mandrel</i>	Hasil
LS 0	20 mm	Terkelupas tepi
LS 7,5		Terkelupas tepi
LS 10		Terkelupas tepi
LS12,5		Terkelupas tepi

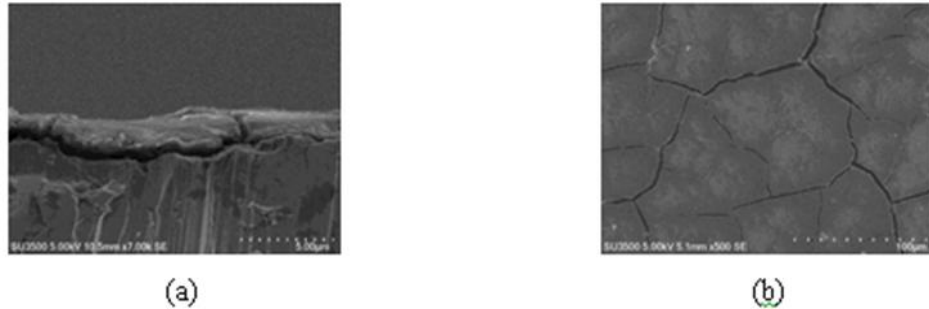
GAMBAR 4. Pengujian fleksibilitas pada *coating* (a) LS 0; (b) LS 7,5; (c) LS 10; dan (d) LS 12,5

Dari Tabel 3 terlihat bahwa penambahan aditif silika tidak mempengaruhi pengelupasan yang terjadi. Namun, dari Gambar 4 terlihat bahwa penambahan silika meningkatkan luas permukaan *coating* yang terkelupas.

8 November 2017

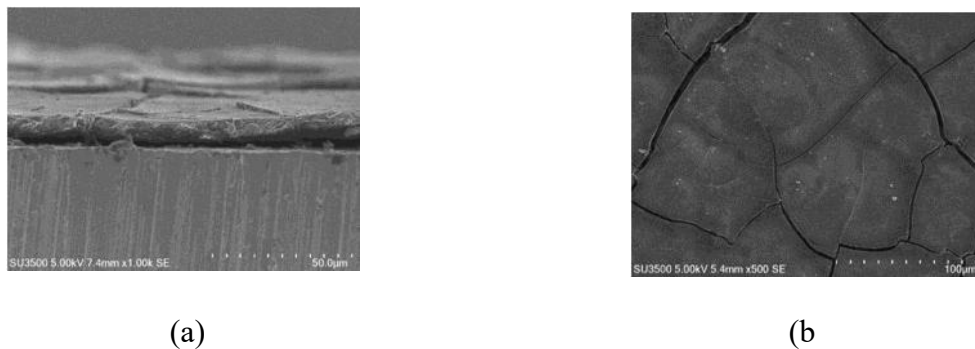
Pengelupasan tersebut diakibatkan adanya ikatan lignin dan silika sehingga lignin lebih sulit bergerak ketika diberi beban *bending* yang menyebabkan *coating* lebih mudah terkelupas.

3.2. Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM)



GAMBAR 5. (a) Hasil SEM *cross section coating* LS 0 dan (b) Hasil SEM tampak atas *coating* LS 0

Dari Gambar 5 (a) terlihat bahwa ada celah pada *interface* yang berarti bahwa *mechanical interlocking* yang terbentuk kurang baik sehingga mekanisme adhesi yang lebih dominan adalah ikatan kimia. Selain itu, dapat diamati dari Gambar 5 terdapat retakan pada permukaan *coating*. Retakan tersebut terjadi karena penyusutan yang besar selama proses pembuatan atau lebih spesifiknya dalam proses pengeringan *coating*. Penyusutan yang besar tersebut diakibatkan oleh penggunaan lignin organosolv yang memiliki rantai pendek sehingga menghasilkan bagian yang tidak rata hingga akhirnya menimbulkan retak pada permukaan *coating*. Retakan juga dapat disebabkan oleh penggunaan etanol sebagai pelarut *coating*. Karena kecepatan pengeringan yang tinggi, terjadi distorsi sehingga menyebabkan retakan pada permukaan *coating*.



GAMBAR 6. (a) Hasil SEM *cross section coating* LS 12,5 dan (b) Hasil SEM tampak atas *coating* LS 12,5

8 November 2017

Dari Gambar 6 terlihat bahwa celah pada *interface coating* LS 12,5 semakin besar yang disebabkan silika yang berukuran relatif besar sehingga menghalangi lignin untuk melapisi substrat. Selain itu, retakan yang terbentuk relatif lebih banyak dibandingkan LS 0. Penyebabnya adalah interaksi berupa ikatan sekunder antara silika dan lignin di dalam *coating*. Akibat adanya ikatan sekunder antara lignin dan silika, lignin akan sulit menyusun diri pada daerah yang konsentrasi silikanya lebih tinggi sehingga penyusutan yang terjadi yang lebih kecil dan sebaliknya. Dengan kondisi tersebut, perbedaan penyusutan yang terjadi semakin besar pada seluruh area *coating* sehingga kemungkinan retaknya juga semakin tinggi. Lalu dari Gambar 6 masih belum terlihat jelas distribusi silika pada *coating* lignin.

4. KESIMPULAN

Penambahan aditif silika meningkatkan daya lekat *coating* lignin sedangkan fleksibilitas dan kekerasan tidak terpengaruh. Daya lekat tertinggi bernilai 0,67 MPa pada *coating* lignin dengan penambahan silika 10% dan 12,5% massa. Setiap *coating* lignin dengan berbagai variasi penambahan silika memiliki kekerasan yang rendah berkisar 8B-9B atau lebih rendah dari 3.09 HK (*Hardness Knoop*) dan mampu menahan beban *bending madre* berdiameter 20 mm tanpa terkelupas seluruhnya.

8 November 2017

REFERENSI

- [1] Ida Brodin, Chemical Properties and Thermal Behaviour of Kraft Lignins, Thesis, 2009.
- [2] A. García dkk., Characterization of lignins obtained by selective precipitation, Sep. Purif. Technol., vol. 68, no. 2, pp. 193–198, 2009.
- [3] BPS, Produksi Kayu Bulat oleh Perusahaan Hak Pengusahaan Hutan Menurut Jenis Kayu , 2015. (<https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1715>, diakses tanggal 6 September 2017).
- [4] C. Wang, S. S. Kelley, dan R. A. Venditti, Lignin-Based Thermoplastic Materials, ChemSusChem, vol. 9, no. 8, pp. 770–783, 2016.
- [5] G. Jungmeier, Classification and assessment of biorefinery concepts. In: IEA Bioenergy Task 42 Biorefineries. ICPS Conference, Leipzig, Germany, 2010.
- [6] R. Lambourne And T. A. Strivens, Paint And Surface Coatings : Theory And Practice, Woodhead Publishing, Cambridge, 1999.
- [7] P. R. Roberge, Corrosion Engineering : Principles and Practice, McGraw-Hill, New York, 2008.
- [8] J. Wira, Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Nanokomposit TiO₂/SiO₂ Pada Aplikasi Dye-Sensitized Cell, ITB, Bandung, 2016
- [9] BSN, Tantangan industri cat nasional, 2012 (http://www.bsn.go.id/main/berita/berita_det/3844/Tantangan-Industri-CatNasional#.V6CunmWEaRs diakses tanggal 6 September 2017).

Pengaruh Penambahan Lignin Pada *Blending* Bioplastik Pati Tapioka/Lignin Terhadap Sifat Mekanik, Sifat Degradasi Tanah, Dan Ketahanan Air

Darmawan Muhaimin^{1,A)}, Mardiyati^{1,B)}, & Steven^{1,C)}

¹*Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB*

a) darmawanmuhaimin@s.itb.ac.id b) mardiyati@material.itb.ac.id

c) steven33116302@students.itb.ac.id

Abstract.

Tapioca starch bioplastics is one of potential plastic that can be used to replace conventional plastics due to its biodegradable properties and could be made from renewable resources. The aim of this research was to investigate mechanical properties, soil degradation, and water resistance of tapioca starch/lignin bioplastic blends. The bioplastic was prepared by solution casting, with various concentration of lignin (0, 3, 7, 11 wt%) . Mechanical properties, i.e. tensile strength, elongation at break, and modulus of elasticity were measured according to ASTM D882-02. Degradation property in soil was measured according to ISO 846. Water resistance of bioplastic was investigated by immersed the bioplastic in water for 1, 3, 5, and 7 days. In this research, it was found that the maximum tensile strength and the highest elongation at break obtained at 0 wt% of lignin which was of 10.63 MPa and 0.85% respectively, while maximum modulus of elasticity obtained at 7 wt% of lignin which was 1803.9 MPa. Bioplastic with 3 wt% of lignin showed the best water resistance as compared to the other sample. While, the degradation property in soil showed similar result which was around 65% remaining area of bioplastic after 7 days of test.

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan material yang perkembangannya termasuk paling pesat dibanding material lainnya seperti logam dan keramik. Mayoritas plastik yang beredar saat ini berasal dari turunan hidrokarbon minyak bumi, yang ketika setelah selesai masa pemakaiannya memiliki waktu untuk terdegradasi di alam yang sangat lama. Estimasi produksi kumulatif sampah plastik dunia untuk tahun 2050 mencapai 25 milyar ton, dimana hanya 25% saja yang dapat didaur ulang, sedangkan sisanya akan dibakar atau menumpuk di pembuangan sampah [1].

8 November 2017

Selain permasalahan lingkungan yang timbul akibat plastik konvensional, permasalahan energi juga dapat mempengaruhi keberlangsungan plastik berbasis dasar minyak bumi, karena plastik dapat menyita hingga 4% produksi minyak bumi dunia. Untuk itu, dalam beberapa tahun terakhir mulai dikembangkan material yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi seperti bioplastik [2].

Bioplastik berbasis pati merupakan salah satu bioplastik yang cukup banyak dikembangkan di dunia karena harganya yang relatif murah dan jumlahnya yang melimpah. Namun bioplastik berbasis pati memiliki beberapa kekurangan, antara lain ketahanan airnya yang rendah. Untuk itu bioplastik berbasis pati perlu dicampurkan dengan material lain, dan dalam penelitian ini digunakan lignin yang memiliki ketahanan air yang baik [3]. Lignin merupakan makromolekul yang jumlahnya melimpah di alam. Lignin merupakan komponen penyusun kayu bersama hemiselulosa dan selulosa [4]. Salah satu metode ekstraksi lignin dari serbuk kayu adalah metode *organosolv*, dalam penelitian ini metode *organosolv* dipilih karena metode ini menghasilkan lignin dengan kemurnian yang tinggi, berat molekul yang rendah, dan kelarutan yang baik dalam pelarut organik [5]. Dalam penelitian ini akan dilakukan *blending* bioplastik pati tapioka dengan lignin dari limbah serbuk kayu meranti yang di ekstraksi dengan metode *organosolv*. Selanjutnya bioplastik yang berhasil dibuat akan diuji sifat mekanik, sifat degradasi tanah, serta sifat ketahanan airnya. Diharapkan dari penelitian ini akan dihasilkan *blending* bioplastik pati tapioka/lignin yang dapat memiliki ketahanan air yang cukup tinggi serta berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui.

2 MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Pati yang digunakan adalah tepung tapioka dengan merk “Gunung Agung”. Lignin yang digunakan adalah lignin hasil proses *organosolv* limbah serbuk kayu meranti merah. *Plasticizer* yang ditambahkan sebagai aditif pada bioplastik pati tapioka /lignin adalah gliserol yang dibeli dari Bratachem Klenteng, Bandung.

2.2 Metode

2.2.1. Pembuatan Bioplastik

8 November 2017

Berikut ini merupakan cara pembuatan bioplastik pati tapioka/lignin dengan variasi berat lignin 0%, 3%, 7%, dan 11%.

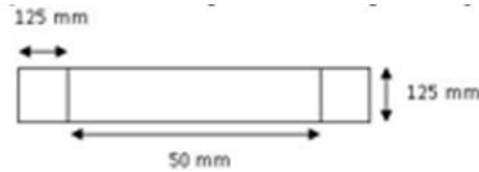
1. Untuk bioplastik dengan variasi lignin 3%, 7%, dan 11%, perlu dilakukan penyaringan lignin terlebih dahulu, berikut penjabarannya
 - a. Lignin sebanyak 0,25 gram, 0,75 gram, dan 1,0 gram masing-masing dilarutkan dalam 50 gram etanol 96% dengan pemutar magnet 450 rpm selama 1 jam.
 - b. Larutan tersebut lalu disaring, substrat yang tidak melewati kertas saring dikeringkan dan ditimbang beratnya, sedangkan filtrat lignin-etanol disiapkan untuk nantinya dicampurkan pada proses pembuatan bioplastik.
 - c. Filtrat nantinya digunakan pada poin (3) bersama aqua DM.
2. Disiapkan bahan A yang terdiri dari 20 gram aqua DM, 5 gram pati tapioka merk “Gunung Agung”, dan 0,75 gram gliserol. Seluruh bahan dicampur dan diaduk hingga merata.
3. Selanjutnya untuk bioplastik variasi 0% lignin, sebanyak 230 gram aqua DM dicampur dengan 50 gram etanol ke dalam gelas kimia 1000 mL. Sedangkan untuk bioplastik variasi 3%, 7%, dan 11%, 50 gram etanol diganti dengan filtrat yang telah disiapkan pada poin (a). Selanjutnya larutan ini disebut larutan B.
4. Larutan B dipanaskan diatas reflux sambil diaduk pada putaran 450 rpm dan dipantau temperaturnya menggunakan termometer.
5. Setelah larutan B mendidih, tambahkan bahan A ke dalamnya dan tunggu selama 90 detik sambil terus dipanaskan dan diaduk.
6. Larutan dituang ke dalam cetakan dan dikeringkan dibawah kipas angin
7. Plastik dapat diangkat dari cetakan setelah kurang lebih 2 hari atau saat sudah kering.

2.2.2. Pengujian Tarik Bioplastik

Bioplastik pati tapioka/lignin yang telah dibuat, dipotong berdasarkan ukuran sampel pengujian tarik mengacu pada standar ASTM D882-02. Standar ini digunakan karena plastik yang dibuat memiliki ketebalan kurang dari 1,0 mm, sehingga dapat digolongkan menjadi film

8 November 2017

tipis. Dari mesin uji tarik akan diperoleh kurva pembebanan-pertambahan panjang (load-extension). Gambar 1 menunjukkan skema specimen yang digunakan pada uji tarik.



GAMBAR 1 Skema spesimen uji tar

Pengujian tarik dilakukan menggunakan alat Tensilon RTF-1310 dengan beban maksimum 1000 N dan kecepatan pembebanan sebesar 25mm/menit

2.2.2 Pengujian Degradasi Tanah

Pengujian degradasi tanah dilakukan untuk mengetahui ketahanan sampel bioplastik pati tapioka/lignin terhadap lingkungan dan mikroorganisme di dalam tanah. Pengujian ini mengacu pada ISO 846. Metode kuantitatif yang paling sederhana untuk mengkarakterisasi terjadinya biodegradasi suatu polimer adalah dengan menentukan perubahan area sebelum dan sesudah pengujian. Pengujian ini dilakukan di *Green Polymer Lab*, FTMD ITB. Pengujian dilakukan di laboratorium agar temperatur dan kelembaban tanah dapat dikontrol. Pengambilan sampel dilakukan pada bioplastik pati tapioka/lignin dengan variasi berat (0%, 3%, 7%, 11%), masing-masing sampel dengan ukuran 3 cm x 3 cm. Pengujian ini dilakukan dengan mengubur spesimen di dalam tanah sedalam ± 1 cm dari permukaan tanah. Pengukuran luas setelah pengujian dilakukan menggunakan aplikasi *Digimizer*.

2.2.3. Pengujian Ketahanan Air

Pengujian rendam dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan berat lignin pada bioplastik pati tapioka/lignin terhadap daya tahan plastik di dalam air. Sampel bioplastik berukuran 3 cm x 3 cm ditimbang beratnya sebelum dilakukan perendaman. Kemudian sampel direndam di dalam wadah berisi air selama rentang 1, 3, 5, dan 7 hari. Setelah direndam, sampel akan dikeringkan dan ditimbang agar berat sampel setelah perendaman diketahui. Setelah itu, persen berat plastik yang tidak terdegradasi (tersisa) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (3.4).

8 November 2017

$$\text{Berat tersisa} = B/A \times 100\% \quad (1)$$

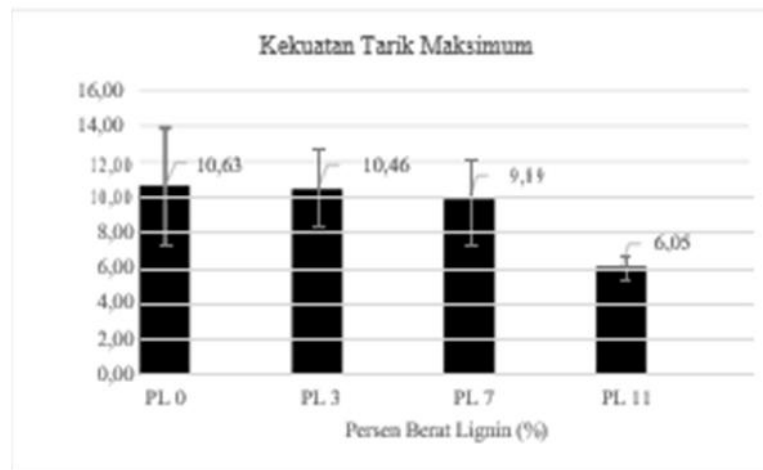
dengan A = berat awal (gram)

B = berat setelah perendaman (gram)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Tarik

3.1.1 Kekuatan Tarik Maksimum

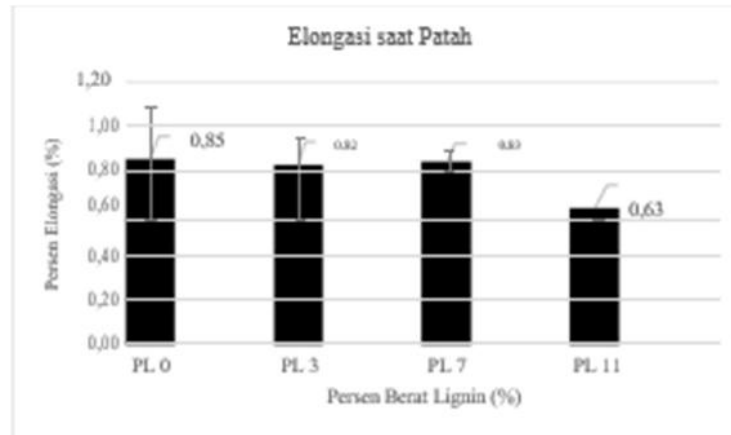


GAMBAR 2 grafik hubungan persentase berat lignin terhadap kekuatan tarik biopastik

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa seiring penambahan fraksi berat lignin, maka kekuatan tarik dari bioplastik akan turun. Hal ini disebabkan karena ikatan sekunder yang berfungsi menahan deformasi berkurang seiring pertambahan lignin, karena secara makromolekul lignin akan lebih susah membentuk ikatan hidrogen dengan pati, jika dibandingkan antar pati.

3.1.2 Elongasi Saat Patah

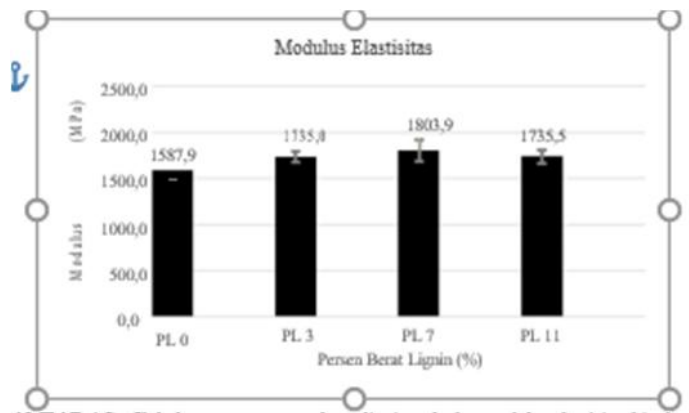
8 November 2017



GAMBAR 3 Grafik hubungan persentase berat lignin terhadap elongasi saat patah bioplastik.

Secara umum Gambar 3 menunjukkan penurunan elongasi seiring dengan bertambahnya persentase lignin dalam bioplastik. Penurunan elongasi pada bioplastik pati tapioka/lignin disebabkan oleh struktur makromolekul lignin yang *bulky* dan ikatan sekunder yang dibentuk lignin dengan pati ataupun lignin dengan lignin buruk.

3.1.3 Modulus Elastisitas

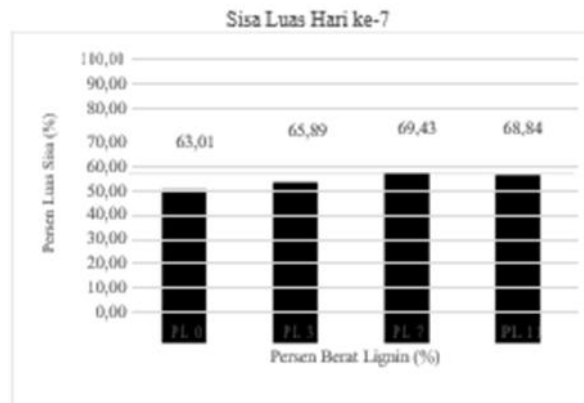


GAMBAR 4 Grafik hubungan persentase berat lignin terhadap modulus elastisitas bioplastik.

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan persentase berat lignin mengakibatkan kenaikan modulus elastisitas dari bioplastik pati tapioka/lignin. Kenaikan ini disebabkan karena lignin yang memiliki gugus *benzene* yang *bulky*, gugus ini mengakibatkan pergerakan rantai-rantai di daerah elatis menjadi lebih sulit, sehingga deformasi dengan nilai yang sama membutuhkan tegangan yang lebih besar.

8 November 2017

3.2. Hasil Pengujian Degradasi Tanah



GAMBAR 5 Grafik persen berat lignin terhadap persen luas sisa uji degradasi.

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa penambahan lignin akan membuat kemampuan degradasi pati cenderung semakin menurun, atau dengan kata lain bioplastik pati tapioka lignin semakin sulit terdegradasi dalam tanah. Hal ini disebabkan karena gugus hidroksil yang dimiliki lignin cenderung lebih sedikit jika dibanding dengan pati. Selain itu, gugus benzene yang *bulky* juga membuat bioplastik semakin sulit terdegradasi.

3.3. Hasil Pengujian Ketahanan Air



GAMBAR 6 Grafik persen berat lignin terhadap persen luas sisa uji ketahanan air

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 bahwa setelah 7 hari perendaman dalam air, berat sisa dari bioplastik pati tapioka/lignin mengalami kenaikan setelah ditambahkan lignin. Bioplastik tanpa penambahan lignin memiliki berat sisa sebesar 50,15%, sedangkan persen berat sisa tertinggi dimiliki oleh bioplastik dengan persentase lignin 3% yaitu 86,32%. Kenaikan ketahanan air ini disebabkan oleh molekul lignin yang melindungi atau menghalangi air untuk melarutkan rantai pati.

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini berhasil dibuat *blending* bioplastik antara pati tapioka dan lignin. Penambahan lignin pada bioplastik pati tapioka/lignin menurunkan kekuatan tarik serta elongasi saat patahnya, namun meningkatkan modulus elastisitasnya. Kemampuan degradasi tanah tidak terlalu terpengaruh dengan ditambahnya lignin pada bioplastik pati tapioka/lignin. Sedangkan ketahanan air dari bioplastik dapat sangat meningkat dengan penambahan lignin ke dalam bioplastik pati tapioka/lignin. *Blending* bioplastik pati tapioka dan lignin hasil ekstraksi limbah serbuk kayu meranti memiliki potensi untuk dapat menggantikan plastik komersial saat ini.. Sehingga penelitian lanjutan untuk meningkatkan sifat mekanik dari *blending* bioplastik tersebut perlu dilakukan.

REFERENSI

- [1] F. G. David K. A. Barnes, "Accumulation and fragmentation of plastic," Philosophical Transactions of the Royal Society, no. 364, 2009.
- [2] E. B. Arian, "A Review: Investigation of Bioplastics," Journal of Civil Engineering and Architecture, vol. 9, 2015.
- [3] P. D. J. Rubin Shmulsky, Forest Products and Wood Science, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [4] M. S. Omar Faruk, Lignin in Polymer Composites, Elsevier, 2016.
- [5] S. S. K. R. A. V. Chao Wang, "Lignin-Based Thermoplastic Materials," Chem Sus Chem, vol. 9, 2016.

8 November 2017

Pengaruh Penambahan Doping TiO₂ terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Material Mg-Al-Zn

R.Henny Mulyani^{1, A)}, & Sri Mulyati Latifah^{2, B)}¹Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Bandung^{a)} henny.mulyani@lecture.unjani.ac.id ^{b)} latifahm521@gmail.com

Abstract.

Material Mg-Al-Zn used is scrap from the casting process results will be developed again into an automotive products with the addition of doping in the form of the compound TiO₂, with addition of doping variation percentage of 2.5%, 5%, 7.5% and 10%. This material is produced through a process that begins with the powder metallurgy process of grinding or mixing (mixing) for 1 hour using a ball mill, from this process it is expected that sample will be mixed until homogeneous. After that continued with the process of cold compaction isostatic with 636 pressure MPa at room temperature and the expected sample results of this process will have a flat surface and density between the particles of the powder that everything possible, then proceed with sintering process using a tube furnace at a temperature of 530°C with the holding time for 1 hour. Characterization of the test is to be conducted, in the form of mechanical properties testing of hardness, microstructure examination and testing of SEM/EDS.

1. PENDAHULUAN

Magnesium merupakan salah satu unsur kimia dengan simbol Mg. Magnesium memiliki densitas atau rapat massa sebesar 1.738 g/cm⁻³, titik lebur sekitar 923° K, titik didih 1363° K. Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 MPa dalam bentuk hasil pengecoran. Paduan magnesium sering digunakan terutama untuk bahan yang memerlukan massa yang ringan namun juga tetap memiliki kekuatan yang baik. Magnesium biasa dipadukan dengan bahan lain seperti aluminium, mangan, dan juga zinc untuk meningkatkan sifat mekanik, namun dengan beberapa persentase yang berbeda. Mg-Al-Zn merupakan salah satu contoh paduan magnesium dengan aluminium (Al) dan zinc (Zn) dimana persentase dari masing-masing paduan sekitar 9% dan 1%.

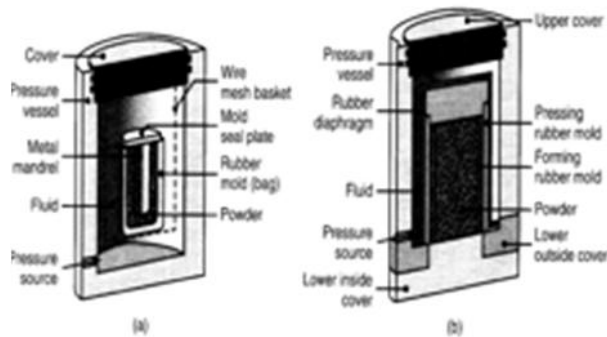
Material paduan Mg-Al-Zn merupakan salah satu jenis material yang dapat dikembangkan untuk komponen otomotif (contoh: *water cooled engine* BMW).

8 November 2017

Komponen ini berfungsi sebagai pendingin mesin mobil dan mencegah panas yang berlebihan. Sistem pendingin pada mesin mobil umumnya terbagi menjadi dua macam yaitu mesin pendingin dengan air dan mesin pendingin dengan udara. Umumnya mesin mobil banyak menggunakan sistem pendingin dengan air. Keuntungan dari sistem pendingin air yaitu pendinginannya lebih cepat, lebih aman karena ruang bakar dikelilingi oleh air dan berfungsi sebagai peredam bunyi dan getaran.

Kekuatan dan keuletan dari material base Mg ini akan meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Paduan Mg-Al-Zn memiliki keuntungan, yaitu dapat mengurangi 2% - 15% dari total berat komponen sehingga produk yang dibuat dengan paduan Mg-Al-Zn ini akan lebih ringan dibandingkan dengan paduan lain.

Cold isostatic pressing (kompaksi isostatik dingin) merupakan suatu metode pembuatan produk dengan bahan baku berupa serbuk logam yang kemudian dilakukan penekanan (*press*) dengan tekanan sebesar 400-1000 MPa. Penekanan ini dilakukan pada suhu kamar. Serbuk logam ditempatkan secara fleksibel pada cetakan yang biasanya terbuat dari karet *neoprene*, *uretan*, *polivinil chlorida*, atau *elastomer*.



GAMBAR 1. (a) *wet bag pressing* dan (b) *dry bag pressing*

Cold isostatic pressing dibagi menjadi dua macam yaitu, *wet bag pressing* dan *dry bag pressing*. Pada *wet bag pressing* (a) bahan serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan *flex*, yang mana terendam ke dalam cairan bertekanan tinggi di bejana bertekanan. Proses ini cocok untuk multi bentuk dan kecil hingga besar produksi kuantitas, dan untuk menekan dari produk ukuran besar. Sedangkan proses *dry bag pressing* (b) ini lebih fleksibel dan lebih bersih karena cetakan *flex* tidak terkontaminasi dengan serbuk logam. Proses ini cocok untuk membuat produk seperti *grinding ball*, *valves*, *tube*, *rods*, *nozzle* dan *implants*.

Titanium oksida (TiO_2) merupakan senyawa yang memiliki tingkat ketahanan korosi yang sangat baik, karena sifatnya tersebut maka pada penelitian ini senyawa titanium oksida digunakan sebagai doping. Penambahan senyawa penghalus TiO_2 , berbentuk serbuk diharapkan dapat pula memberikan pengaruh positif yaitu dapat menghaluskan butir dan memberikan sifat-sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan material awalnya

Faktor pendorong utama dari penelitian dan pengembangan material paduan Mg-Al-Zn adalah berkaitan erat dengan potensi kebutuhan material alternatif atau substitutif yang dapat memenuhi persyaratan sebagai material struktur dan/atau material fungsional yang ringan dan memiliki sifat-sifat mekanik yang tinggi.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan yaitu scrap Mg, scrap Zn, serbuk Al dan serbuk TiO_2 .

2.2 Metode

Scrap hasil proses pengecoran berupa scrap Mg dan scrap Zn dimanfaatkan kembali untuk dibuat suatu produk otomotif dengan penambahan serbuk Al, sehingga membentuk paduan Mg-Al-Zn. Penambahan persentase variasi doping TiO_2 yaitu sebesar 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% bertujuan untuk dapat melihat perbandingan sifat mekanik, struktur mikro dan morfologi dari masing-masing variasi.

Mula-mula bahan serbuk ini dilakukan proses penggilingan atau pencampuran (*mixing*) selama 1 jam menggunakan mesin *ball mill* untuk menghomogenkan keseragaman paduan. Bola baja yang digunakan untuk proses *milling* ini digunakan sebanyak 10 buah dengan diameter bola baja 1,5 cm dengan berat bola baja $\pm 0,5$ gram. Penggilingan ini menggunakan metode *dry milling*. *Dry milling* adalah proses penggilingan tanpa menggunakan pelarut polar. Metode *dry milling* ini digunakan apabila material yang digunakan tidak mudah mengalami oksidasi. Setelah itu dilanjutkan dengan proses penekanan secara isostatik pada temperatur kamar (*Cold isostatic pressing*). Serbuk logam yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan kemudian dilakukan penekanan sebesar 636 MPa. Hasil dari proses penekanan ini sampel akan memiliki bentuk silinder dengan diameter ± 1 cm. Sampel hasil proses penekanan ini diharapkan memiliki kepadatan yang maksimal serta diharapkan memiliki sifat mekanik yang baik.

8 November 2017

Selanjutnya dilakukan proses pemanasan (*sintering*) pada temperatur 530°C selama 1 jam menggunakan *tube furnace*. Proses sintering ini bertujuan untuk menghasilkan keseragaman atau kehomogenan pada butir-butir antar partikelnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Karakterisasi Pengujian Kekerasan

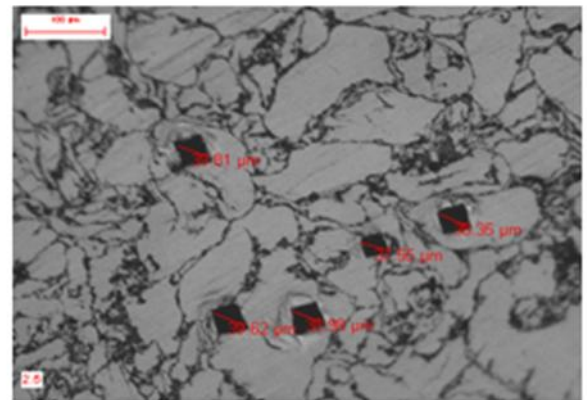
Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen yang berbentuk silinder dengan diameter ± 1 cm. Masing-masing spesimen dilakukan 5 kali pengujian kekerasan. Angka kekerasan *vickers* (HV) diperoleh dengan memberi beban penekanan (P) sebesar 50 gram. Berikut merupakan hasil pengujian kekerasan *Vickers*:

TABEL 1. Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 2.5%

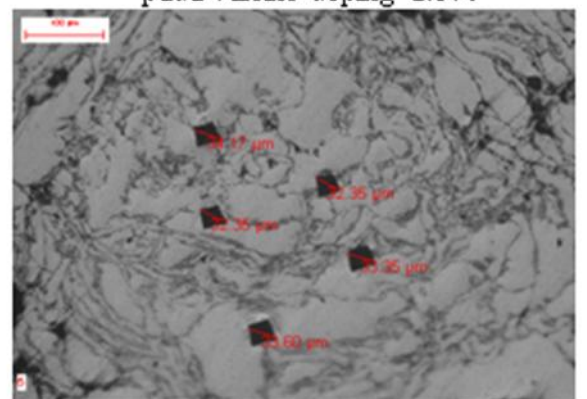
P	D	HV
50	39,81	58,49
50	39,62	59,05
50	38,98	61,01
50	37,55	65,74
50	38,35	63,03
Rata-rata		61,67

TABEL 2. Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 5%

P	D	HV
50	34,17	79,39
50	32,35	88,58
50	33,35	83,35
50	33,60	82,11
50	32,35	88,58
Rata-rata		84,40



GAMBAR 2. Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 2.5%

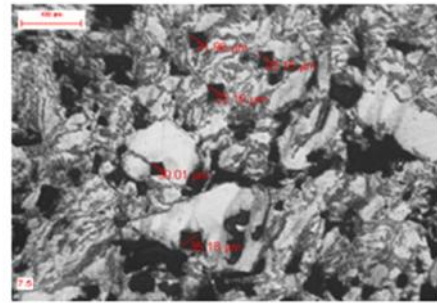


GAMBAR 3. Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 5%

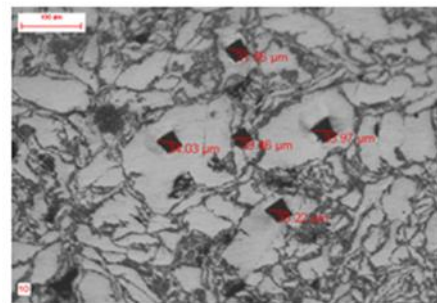
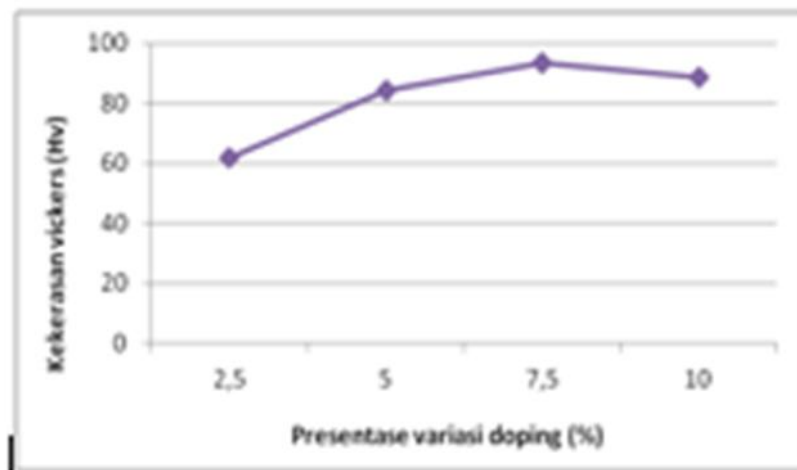
8 November 2017

TABEL 3. Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 7.5%

P	D	HV
50	31,96	90,75
50	29,15	109,09
50	32,19	89,46
50	30,01	102,93
50	35,18	74,90
Rata-rata		93,43

**GAMBAR 4.** Hasil pengujian mikro vickers pada variasi doping 7.5%**TABEL 4.** Hasil pengujian vickers pada variasi doping 10%

P	D	HV
50	31,56	93,07
50	29,46	106,81
50	34,03	80,05
50	33,97	80,33
50	33,22	84,00
Rata-rata		88,85

**GAMBAR 5.** Hasil pengujian vickers pada variasi doping 10%**GAMBAR 6.** Grafik hubungan antara variasi doping vs kekerasan

Pada persentase doping 2,5% rata-rata nilai kekerasan yang dihasilkan sebesar 61,67 HV, pada persentase kadar 5% dihasilkan nilai rata-rata sebesar 84,40 HV, pada kadar 7,5% dihasilkan nilai rata-rata sebesar 93,43 HV sedangkan pada kadar 10% dihasilkan nilai rata-rata sebesar 88,85 HV.

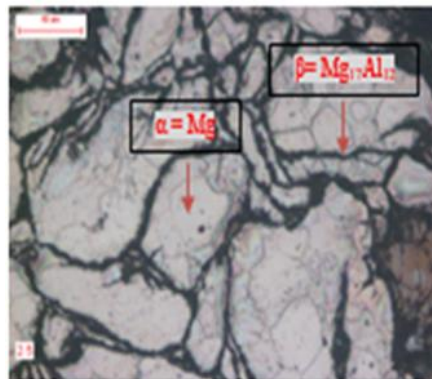
8 November 2017

Hasil pengujian kekerasan dapat memperlihatkan bahwa persentase doping akan mempengaruhi nilai kekerasan. Pada penambahan doping sebanyak 10% nilai kekerasan menurun, hal ini dapat dikarenakan persen penambahan doping yang terlalu berlebih atau dapat dikatakan lewat jenuh sehingga menyebabkan menurunnya nilai kekerasan.

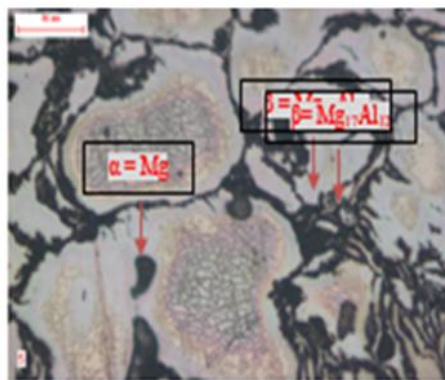
Nilai kekerasan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kerapatan partikel serbuk antara satu dengan yang lainnya. Semakin padat dan padu kerapatan partikel serbuknya maka akan menghasilkan nilai kekerasan yang baik juga.

3.2 Hasil Karakterisasi Pemeriksaan Struktur Mikro

Pemeriksaan struktur mikro secara kualitatif ini dengan cara menentukan bagian mana fasa yang ada pada struktur mikro yang sudah di dapat. Berikut ini hasil dari pemeriksaan struktur mikro secara kualitatif:

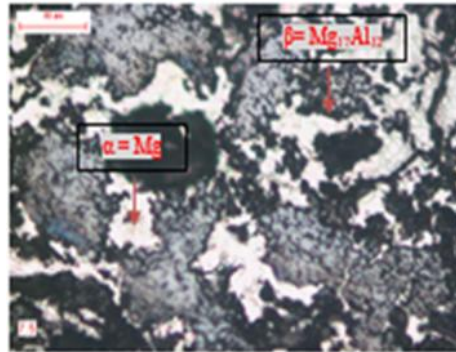


GAMBAR 7. Hasil pemeriksaan struktur mikro pada variasi doping 2.5%.

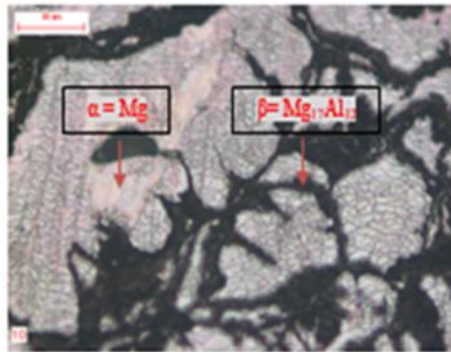


GAMBAR 8. Hasil pemeriksaan struktur mikro pada variasi doping 5%

8 November 2017



GAMBAR 9. Hasil pemeriksaan struktur mikro pada variasi doping 7.5%



GAMBAR 10. Hasil pemeriksaan struktur mikro pada variasi doping 10%

Pada pemeriksaan struktur mikro terdapat dua fasa yang terbentuk yaitu, fasa α (Mg) yang berwarna putih dan fasa β ($\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$) yang berada di batas butir. Pada sampel dengan variasi doping 7,5% hasil pemeriksaan menunjukkan fasa β yang terbentuk kurang terlihat jelas, hal ini dikarenakan pada saat proses etsa yang terlalu *over*. Larutan etsa yang digunakan adalah campuran asam nitrat dan aquades.

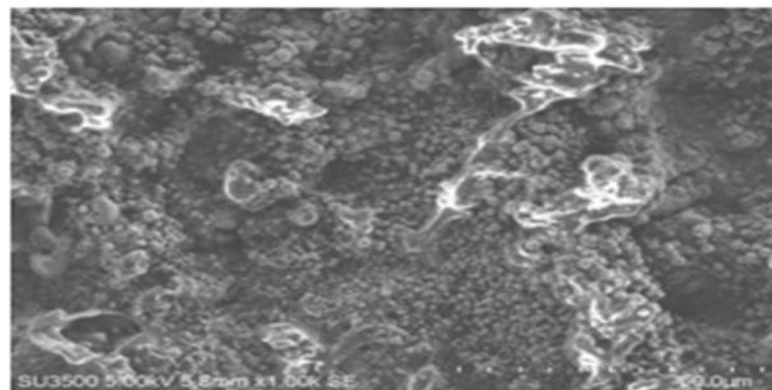
3.3 Hasil Karakterisasi Pengujian SEM

Pada pengujian SEM dilakukan pada sampel dengan persentase variasi doping 5% dan 10%, hasil pengujiannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

8 November 2017



TABEL 6. Hasil pengujian EDS variasi doping 5%

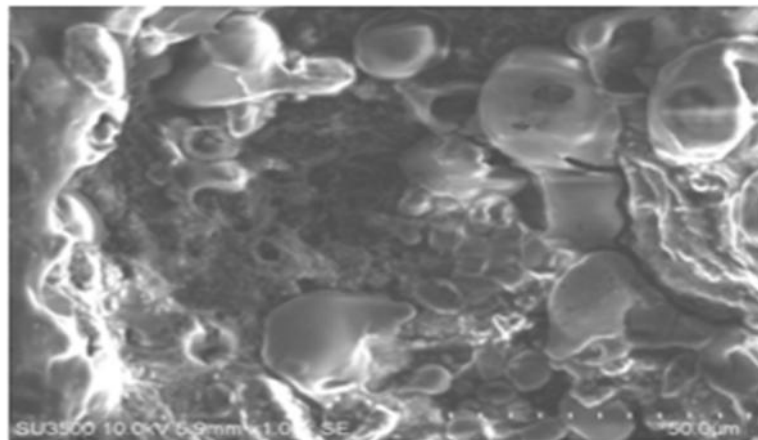


GAMBAR 11. Hasil pengujian SEM variasi doping 5%

8 November 2017



TABEL 7. Hasil Pengujian EDS variasi doping 10%



GAMBAR 12. Hasil pengujian SEM variasi doping 10%

Pada hasil pengujian SEM/EDS sampel dengan variasi doping 5% dapat terlihat bahwa morfologinya berbentuk bulat-bulat kecil yang tersebar secara merata dengan unsur-unsur berupa Mg, Al, Zn, C, O dan Ti. Unsur C dan O yang terdapat ini biasanya merupakan pengotor-pengotor yang ikut terbentuk. Sedangkan pada hasil pengujian SEM/EDS sampel dengan variasi doping 10% terlihat bahwa morfologinya berubah menjadi bulat-bulat besar dengan unsur-unsur berupa Mg, Al, Zn, C, O dan Ti. Unsur C yang terdapat ini biasanya merupakan pengotor-pengotor yang ikut terbentuk.

8 November 2017

Dapat dilihat pada **Gambar 6** bahwa dengan bertambahnya persen doping TiO₂ yang berlebih (sebanyak 10%), menyebabkan nilai kekerasannya menjadi turun serta akan menyebabkan morfologinya berbentuk bulat-bulat besar.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada persentase kadar senyawa TiO₂ sebanyak 7.5% menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi yaitu, sebesar 93.43 HV. Penambahan senyawa TiO₂ melewati batas maksimal (10%) membuktikan akan menurunkan nilai kekerasannya. Fasa yang terbentuk yaitu, fasa α (Mg) yang berwarna putih dan fasa β (Mg₁₇Al₁₂) yang berada pada batas butir. Morfologi yang terbentuk cenderung berbentuk bulat yang tersebar secara merata.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Jurusan Teknik Metalurgi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Achmad Yani dan Dekan Fakultas Teknik yang telah membantu dan ikut terlibat pada penyelesaian penelitian ini. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi sumber pengetahuan bagi para pembacanya.

8 November 2017

REFERENSI

1. ASM Specialty Handbook- Magnesium and Magnesium Alloys, ed. Avedesian M., Baker H, ASM International, USA, (1999), 3-84.
2. Seorope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Manufacturing Engineering and Technology, Sixth Edition (2009).
3. ASM Handbook Vol.7 Powder Metallurgy Technology and Application.
4. ASM Handbook Vol.9 Metallography and Microstructures, (1992).
5. C. Blawert, N. Hort and K.U Kainer, Automotive Applications of Magnesium and its Alloys (2004).
6. Avure, Cold Isostatic Dry Bag Presses (2016).
7. Sarizal Bin Md. Ani, Physical Behaviour of Powder Ceramic Part Using Cold Isostatic Pressing (CIP) Processes (2016).
8. M. Koizumi, M. Nishihara, Isostatic Pressing Technology and Applications (1991).
9. Ahmad Multazam, Wahyono Suprpto dan Pratikto, Pengaruh Temperatur pada Proses Hot Isostatic Pressing terhadap Porositas, Keausan dan Mikrostruktur Sludge Powder Duralumin (2014).
10. Zulfikar, Pengaruh Pressureless Sintering Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Aluminium / Fly Ash (2013)
11. Hasitha C. Weerasinghe, Prasad M. Sirimanne, George P. Simon and Yi-Bing Cheng, Cold isostatic pressing technique for producing highly efficient flexible dye-sensitised solar cells on plastic substrates (2011).
12. Mohamed Aborasa, Andanastuti Muchtara, Che Husna Azharia, Norziha Yahayab, Chin Chuin Hao, Improvement Of Mechanical Properties Of Y-Tzp Via Ceria Addition And Cold Isostatic Pressing Method (2015).

Potensi Silika Dari Limbah Sekam Padi Sebagai Aditif Pada *Coating* Berbahan Dasar

Lignin

Septian D. Putra^{1, A)}, Mardiyati^{2, B)}, Steven^{3, C)}, & Silvia M. Shoimah^{4, D)}

¹Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi dan Sains Bandung, Jalan Ganesha Boulevard, Lot-A1 CBD Kota Deltamas, Bekasi, Indonesia

^{2,3,4}Kelompok Keahlian Ilmu dan Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Insitut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha no.10, Bandung, Indonesia

^{a)}septiandwimisch@gmail.com ^{b)}mardiyati@material.itb.ac.id

^{c)}steven33116302@students.itb.ac.id ^{d)}silvia.maratus999@gmail.com

Abstrak

Rice is one of the main food needed in Indonesia with total production reached 79 million tons per year, with rice husk waste generated reached 16 million tons. Rice husk waste contain of lignocellulose and silica (SiO_2). Due to its harsh nature, silica can be used as an additive in coating formula to increase hardness of coating. In this study, the silica was extracted from rice husk waste by the sol-gel method and the calcination temperature were varied 500,700, 900 °C. Scanning electron microscope (SEM) were conducted to determine themorphology and particle distribution of SiO_2 . Coatings were made from commercial lignin and silica was added up to 10wt%. The steel surface was prepared by pickling using HCl. Lignin based coating using ethanol as solvent was applied tothe steel substrate by spreading method. Hardness was measured by pencil test according to ASTM D-3363. Adhesivestrength was measured by pull-off test according to ASTM D-4541. The result showed that the addition of silica was ableto improve hardness of tread samples.

Key words:Additive, lignin, rice husk, scratch resistant, silica

1. PENDAHULUAN

Rentan tergoresnya cat pada *body* mobil merupakan permasalahan utama dalam bidang otomotif yang dapat mempengaruhi kepuadaran dan kemampuan *coating* dalam menahan korosi.Salah satu cara untuk meningkatkan ketahanan gores suatu*coating* adalah dengan menambahkan aditif berupa *inorganic material*, contohnya silika.

8 November 2017

Hanya saja, silika yang digunakan saat ini masih bersifat *non-renewable* karena berasal dari pelapukan mekanik dan kimia dari batuan beku yang melimpah kuarsa dan batuan metamorf [1]. Oleh karena itu digunakan silika yang bersifat *renewable* sebagai aditif *coating* berbahan dasar lignin.

Padi merupakan salah satu kebutuhan pangan utama di Indonesia dengan total produksi mencapai 79.1 juta ton per tahun [2]. Berat sekam adalah 20% dari keseluruhan jumlah padi yang dihasilkan [3]. Maka sekurangnya akan dihasilkan limbah sekam padi sebesar 15.82 juta ton per tahun yang akan menjadi limbah yang kurang dimanfaatkan di Indonesia. Sekam padi yang dibakar dengan temperatur tertentu dapat menghasilkan abu sekam padi [4-5]. Abu sekam padi memiliki kandungan silika (SiO_2) mencapai 95% [6]. Silika ini yang dimanfaatkan sebagai aditif *coating* berbahan dasar lignin. Lignin merupakan senyawa polimer aromatik paling melimpah kedua setelah selulosa [7]. Lignin bersama selulosadan hemiselulosa merupakan komponen utamapenyusun tumbuhan yang ketiganya membentuk suatu sistem yang disebut lignoselulosa. Lignin dapat dimanfaatkan sebagai pengikat (binder) pada *coating* karena sifat adhesif-nyayang baik dan sifatnya yang semi-hidofobik membuatnya sebagai perlindungan tambahan terhadap air. Selain itu penelitian mengenai *coating* berbahan dasar lignin masih sangat minim di Indonesia. Pada penelitian ini dikaji potensi dan performa lignin sebagai pengikat (binder) dan silika dari abu sekam padi sebagai aditif dalam bahan baku *coating* pada baja karbon rendah sebagai alternatif *binder coat* untuk aplikasi otomotif.

2. METODE PERCOBAAN

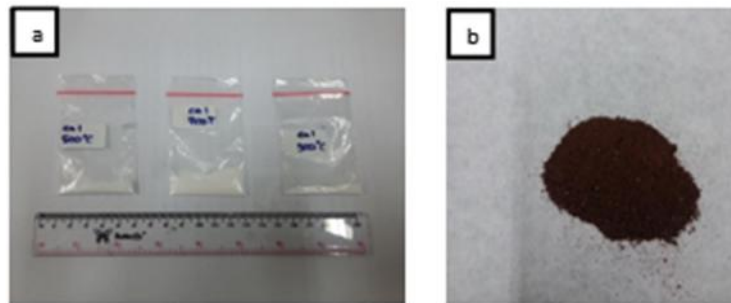
2.1 Bahan

Sekam padi diperoleh dari Indramayu, Jawa Barat. Lignin diperoleh dari PT Tokyo Chemical Industry. Etanol, Natrium Hidroksida, dan ammonia diperoleh dari PT. Bratachem, Bandung. Hidrogen Klorida diperoleh dari PT. Pudak, Bandung. Aqua DM (demineralisasi) dan aqua DI (deionisasi) diperoleh dari Program Studi Kimia, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.

2.2 Metode Percobaan

8 November 2017

Proses Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi. Silika dari abu sekam padi diekstraksi melalui metode sol-gel, dengan langkah awal sekam padi dibakar pada temperatur 700 °C, kemudian dilanjutkan dengan pembentukan Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dengan NaOH 2.5M, lalu dilanjutkan dengan proses ekstraksi SiO_2 dengan HCl 2M dan ammonia, dan yang terakhir proses pembuatan nanopartikel SiO_2 dengan cara dikalsinasi. Terdapat 3 variasi temperatur kalsinasi yang dilakukan, yaitu 500, 700 dan 900 °C. Penampakan visual dari silika, lignin dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR1.(a) silika (b) lignin

Proses Pembuatan Coating. Lignin dilarutkan dengan etanol dengan perbandingan antara lignin:etanol adalah 1:100. Larutan dihomogenkan dengan menggunakan magnetic stirrer selama 60 menit. Lignin yang terlarut etanol dan yang tidak terlarut dipisahkan melalui proses penyaringan. Lignin yang terlarut etanol (filtrat) diuapkan pada temperatur 300°C hingga perbandingan filtrat lignin dibanding etanol 1: 2. Larutan filtrat lignin-etanol dituang dan diratakan di atas permukaan baja yang telah dipickling.

Kode Sampel. Kode sampel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1

TABEL1.Kode sampel penelitian

Kode Sampel	Keterangan
S500	Nanopartikel SiO_2 dengan temperatur kalsinasi 500 °C
S700	Nanopartikel SiO_2 dengan temperatur kalsinasi 700 °C
S900	Nanopartikel SiO_2 dengan temperatur kalsinasi 900 °C
LS500	Coating lignin dengan penambahan S500
LS700	Coating lignin dengan penambahan S700
LS900	Coating lignin dengan penambahan S900

2.3 Karakterisasi dan Pengujian

Karakterisasi Scanning Electron Microscope (SEM). Pengujian SEM dilakukan untuk mendapatkan data visual topografi dan morfologi dari sampel SiO_2 . Pengujian dilakukan di Pusat Penelitian Nanosains dan Nanoteknologi, Institut Teknologi Bandung dengan menggunakan alat merk SU3500.

Pengujian kekuatan lekat. Pengujian kekuatan lekat dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D 4145 menggunakan alat *pull off* dengan kapasitas maksimum *pull off* sebesar 7 MPa, diameter dolly 20 mm dan lem araldite (epoksi). Pengujian dilakukan setelah lem yang direkatkan melalui dolly ke substrat dibiarkan selama tiga hari. Pengujian dilakukan di Laboratorium Pengujian Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Bandung.

Pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM D 3363 menggunakan alat uji kekerasan Sheen dengan berbagai tingkat kekerasan pensil mulai dari yang ter lunak hingga yang terkeras (9B-9H). Pengujian dilakukan hingga didapatkan pensil terkeras yang tidak dapat merusak *coating*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Balai Besar Bahan dan Barang Teknik (B4T) Bandung.

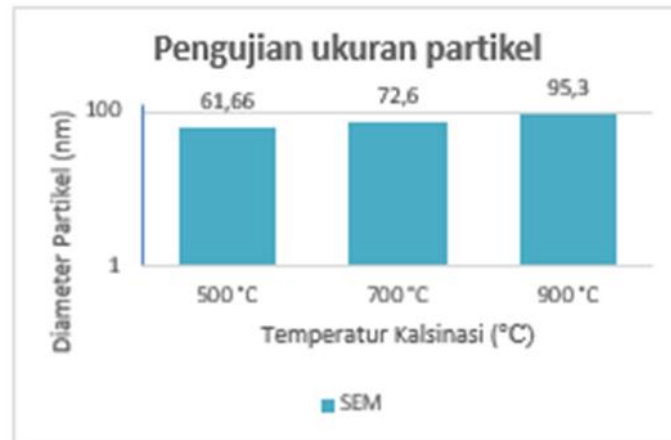
3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil dan pembahasan dibagi menjadi tiga bahasan, yaitu analisis morfologi dan ukuran partikel SiO_2 hasil ekstraksi dari abu sekam padi, analisis visual *coating*, serta performa *coating* lignin yang ditambah silika sebagai aditif pada substrat baja.

3.1 Analisis SiO_2 hasil ekstraksi dari abu sekam padi

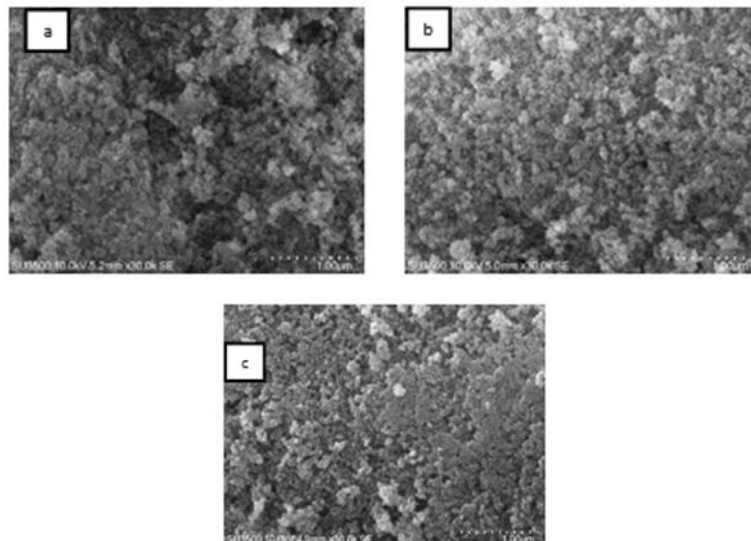
Ukuran SiO_2 . Pengukuran diameter rata-rata partikel dengan uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 2.

8 November 2017



GAMBAR2.Grafik hasil pengujian ukuran SiO_2 hasil ekstraksi abu sekam padi dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)

Dari Gambar 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi, maka ukuran partikel silika akan semakin besar, walaupun secara umum ukuran silika yang sudah dihasilkan sudah sangat baik karena mencapai orde nano. **Morfologi SiO_2 .** Morfologi SiO_2 hasil ekstraksi dari abu sekam padidengan menggunakan metode sol-gel dengan variasi temperatur 500, 700, 900 °C dapat dilihat Gambar 3.



GAMBAR 3.Hasil karakterisasi SEM SiO_2 hasil ekstraksi abu sekam padi(a) 500°C (b)700 °C (c) 900°C

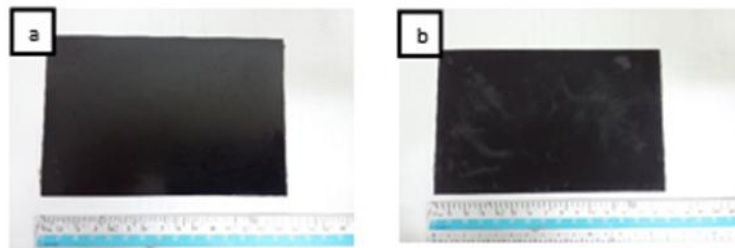
8 November 2017

Dari Gambar 3 terlihat hasil pengujian SEM yang menampilkan morfologi antara S500, S700, dan S900. Berdasarkan hasil pengujian SEM, struktur tidak dapat dipastikan secara jelas karena membentuk suatu ketidakteraturan, sehingga tidak dapat ditentukan fasa yang terbentuk pada sampel. Hal tersebut mungkin diakibatkan oleh ukuran partikel yang terlalu kecil sehingga permukaan partikel tidak dapat terlihat dengan jelas. Untuk memastikannya, selanjutnya dapat diuji dengan TEM dan XRD untuk mengetahui struktur yang terbentuk.

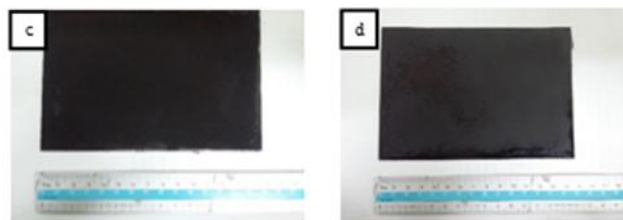
Tetapi dapat dilihat dengan perbesaran yang sama yaitu 30000x, tiap sampel silika memiliki kerapatan partikel yang berbeda beda. Dimana semakin tinggi temperatur kalsinasi maka semakin rapat struktur yang terbentuk.

3.2 Analisis Visual Coating

Sampel *coating* lignin dibuat dengan metode spreading secaramanual. Hasil *coating* berbahan dasar lignin dapat dilihat pada Gambar 4.



GAMBAR4.(a) coating lignin native (b) coating LS500



GAMBAR4.(c) coating LS700 dan (d) coating LS900

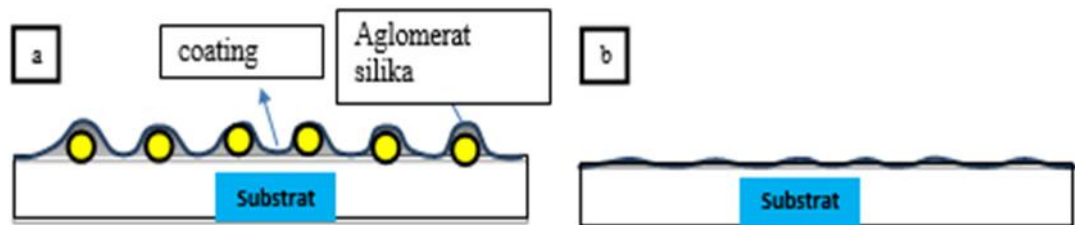
Dari analisis visual, *coating* lignin native hingga LS900, semua memberikan hasil yang relatif sama, yaitu *coating* yang dihasilkan berupa lapisan hitam pekat (*matte black*) sehingga tidak memberikan efek glossy pada substrat. Dengan meninjau dari analisis visual *coating* yang terbentuk, maka dapat diurutkan nilai visual *coating* secara kualitatif berupa kehalusan permukaan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, dimana nilai 4 untuk kualitas kehalusan yang paling baik.

8 November 2017

TABEL 2. Nilai kehalusan permukaan coating

Jenis Coating	Urutan Kehalusan
Lignin Native	4
LS500	3
LS700	2
LS900	1

Berdasarkan data pada Tabel 2, kehalusan *coating* dapat dipengaruhi oleh aglomerasi silika yang terbentuk pada saat kalsinasi, semakin tinggi temperatur kalsinasi maka semakin besar kemungkinan silika untuk beraglomerasi, sehinggalah pada sampel LS900 dengan aditif silika yang dikalsinasi pada temperatur yang tinggi, kekasaran *coating* akan semakin tinggi. Adapun model yang dapat menggambarkan kekasaran permukaan akibat aglomerasi silika pada *coating* dapat dilihat pada gambar 5.



GAMBAR 5. (a) coating dengan kekasaran permukaan tinggi (b) coating dengan kekasaran permukaan rendah

3.3 Performa coating lignin + silika sebagai aditif pada substrat baja.

Hasil pengujian performa *coating* lignin+ silika sebagai aditif pada substrat baja dapat dilihat pada Tabel 3.a dan 3.b.

TABEL 3.a Hasil pengujian kekuatan lekat pensil

Sampel	Daya Lekat (MPa)		Rata-rata (MPa)
Native	0.8	1	0.9
+ Silika kalsinasi	500 °C	0.5	0.5
	700 °C	0.5	0.625
	900 °C	0.75	0.625

TABEL 3.b Hasil pengujian kekerasan

Sampel	Kekerasan	KHN	
Native	4B	3.09	
+ Silika kalsinasi	500 °C	3B	4.33
	700 °C	3B	4.33
	900 °C	4B	3.09

8 November 2017

Dari Tabel 3. dapat dilihat bahwa kekuatan lekat *coating* LS500, LS700, LS900 lebih rendah dari *coating* lignin native, hal tersebut disebabkan ukuran partikel silika yang lebih kecil akan menghalangi ikatan antara lignin dan substrat, tetapi masih perlu dibuktikan dengan menggunakan SEM *cross section* untuk mengetahui posisi silika di dalam sistem *coating*.

Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, seperti lignin hasil ekstraksi dari Black Liquor yang memiliki nilai daya lekat rata-rata 0.5 MPa [8], damar resin $\alpha\beta$ yang memiliki nilai daya lekat rata-rata 0.5 MPa, akrilik yang memiliki nilai daya lekat rata-rata 0.83 MPa [9], potensi lignin sebagai bahan baku pengikat *coating* seharusnya masih bisa ditingkatkan lagi.

Dari Tabel 3.b dapat dilihat bahwa kekerasan *coating* dengan penambahan silika sebagai aditif mengalami peningkatan nilai kekerasan, hal tersebut terjadi karena silika yang memberi efek 'bounceback' pada saat *coating* diberi penetrasi sehingga silika satu sama lain dapat menyusun diri kembali. Tetapi pada *coating* LS900 memiliki nilai kekerasan yang sama dengan *coating* lignin native, yang disebabkan oleh permukaan *coating* yang sedikit kasar karena ukuran silika digunakan adalah yang paling besar diantara S500 dan S700, oleh karenanya saat diberi penetrasi, pensil yang seharusnya menggores, kemudian menjadi merusak akibat jalur yang dilewati pensil tidak halus. Bila dibandingkan dengan akrilik yang telah dijual dipasaran, dengan nilai kekerasan pensil 9H atau setara dengan 34.9 KHN, maka *coating* lignin-silika belum bisa menyamainya. Kemungkinan hal tersebut dikarenakan *coating* akrilik telah ditambahkan berbagai jenis aditif yang mampu meningkatkan kualitas atau performa dari *coating* akrilik yang digunakan.

4. KESIMPULAN

Ukuran partikel terkecil silika yang di ekstrak dari limbah sekam padi adalah silika dengan temperatur kalsinasi 500 °C dengan diameter rata-rata 61.6 nm, dan ukuran partikel terbesar didapat dari silika temperatur kalsinasi 900 °C dengan diameter rata-rata 95.3 nm. Penambahan silika sebagai aditif pada *coating* berbahan dasar lignin dapat meningkatkan kekerasan hingga 28%. Namun tidak memberikan pengaruh pada performa daya lekat *coating* lignin.

AKNOWLEDGEMENT

Ucapan terima kasih kami haturkan kepada RISTEK-DIKTI atas dana penelitian yang telah diberikan. Ucapan terima kasih juga kami haturkan kepada Bapak Deni Balai Besar Bahan dan Teknik, atas bantuan dan fasilitas yang diberikan.

8 November 2017

REFERENSI

- [1] Geologinesia, Pengertian, Asal, dan Pemanfaatan Pasir Silika, 2016.(<http://www.geologinesia.com/2016/02/pengertian-asal-dan-pemanfaatan-pasir.html>, diakses 13 November 2017).
- [2] Kementerian Pertanian RI. Basis Data Statistik Pertanian - Padi. Indonesia :Kementerian Pertanian, 2016.
- [3] Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Bidang Pangan dan Pertanian 2015-2019. Jakarta Pusat: Direktorat Pangan dan Pertanian, Bappenas, 2014.
- [4] Wira.J., (2016) Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Nanokomposit TiO₂/ SiO₂ Pada Aplikasi Dye-Sensitized Solar Cell.Sarjana, Teknik Material, ITB, Bandung, 2016.
- [5] V. Vaibhav, U. Vijayalakshmi, S. Mohana Roopan, Agricultural waste as a source for the production of silica nanoparticles, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (2014)
- [6] Kapur, P.C., (1985):Production of Reactive Bio-Silica from the Combustion of Rice Husk in a Tube-in-Basket (TiB) Burner. pp. 63-67.
- [7] O. Faruk and M. Sain, *Lignin in Polymer Composites* (Elsevier Inc., Massachusetts, 2016), pp. 1.
- [8] Mar'atus S., Pembuatan Coating Baja Berbahan Dasar Lignin Hasil Isolasi dari Limbah Kraft Black Liquor dan Lignin Komersial.Sarjana, Teknik Material, ITB, Bandung, 2017.
- [9] Afrilinda, E.,Pembuatan Dan Karakterisasi Coating Berbahan Damar Silika Dari Abu Sekam Padi Pada Baja, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, 2017.

Pengaruh *Die Drawing* Terhadap Sifat Mekanik Polyethylene

Iman Saefuloh^{1, A)}, & Haryadi¹⁾

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

^{a)}e-mail : naylasyifa73@yahoo.co.id

Abstrak

Sendi lutut merupakan sendi terbesar yang terdapat dalam tubuh manusia dengan struktur ligamen dan otot yang kompleks. Struktur tulang sendi lutut terdiri dari femur dan tibia. Meningkatnya usia, adanya cedera yang disebabkan kecelakaan, dan penyakit sendi menyebabkan terganggunya keseimbangan struktur kompleks sendi lutut. Perubahan ini dapat menyebabkan terganggunya fungsi lutut sehingga mengurangi mobilitas seseorang. Perawatan bedah dilakukan untuk mengembalikan fungsi normal sendi lutut adalah dengan cara operasi penggantian sendi lutut. Penggantian sendi lutut merupakan perawatan ortopedi dengan menggunakan sendi lutut tiruan (knee joint prosthesis). Tiga bahan paduan yang banyak digunakan sebagai bahan komponen femoral yaitu paduan titanium, austenitic stainless steel dan cobalt chrome alloy. Sedangkan komponen tibial, bahan yang digunakan adalah polyethylene. Bahan-bahan yang dipergunakan sebagai bahan pengganti komponen sendi lutut tiruan harus memiliki sifat-sifat tertentu. Sifat utama sebagai biomaterial adalah corrosion resistance, biocompatibility, bio-adhesion (bone ingrowths), bio-functionality (sifat mekanis dan young's modulus mendekati sifat tulang manusia), process-ability dan availability. Dalam penggunaannya sendi lutut tiruan kedua bahan baik stainless steel dan polyethylene akan mengalami gesekan secara terus menerus sebagai wujud dari aktivitas yang dilakukan oleh seseorang. Dalam jangka waktu tertentu, gesekan ini akan menimbulkan keausan dan melepaskan wear debris. Partikel wear debris tersebut menjadi faktor utama yang menyebabkan kegagalan penggantian sendi lutut tiruan. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan polyethylene di proses sedemikian rupa sehingga sifat mekaniknya lebih baik, salah satu metoda untuk meningkatkan sifat mekanik polyethylene adalah dengan cara die drawing. Tujuan penelitian ini adalah melihat seberapa besar pengaruh die drawing terhadap peningkatan sifat mekanik polyethylene. Metoda yang digunakan adalah dengan menarik polyethylene dari suatu dies diameter 40 mm menjadi 10 mm pada temperatur yang berbeda-beda 135⁰C, 175⁰C dan 220⁰C, rasio penarikan 1:4, kecepatan penarikan 50 mm/mnt kemudian setelah itu di uji tarik, uji kekerasan dan uji keausan. Dari hasil pengujian didapat peningkatan kekuatan tarik polyethylene rata-rata 88,49 BHN menjadi rata-rata 114,28 BHN.

8 November 2017

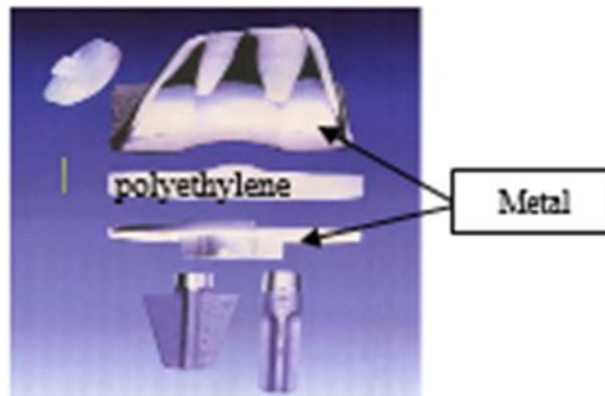
1. PENDAHULUAN

Dalam melakukan berbagai aktifitas sesuai fungsinya, sendi lutut akan mengalami perubahan tegangan kontak akibat pembebanan pada komponen femur dan tibial [1]. Penyakit seperti *osteoarthritis*, proses penuaan ataupun kecelakaan dapat menyebabkan sendi lutut tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam tingkatan kerusakan tertentu dimana cartilage mengalami keausan secara menyeluruh, maka penggunaan sendi tiruan menjadi pilihan. Material *cobalt chrome alloy* dan *polyethylene* adalah salah satu pasangan material yang paling sering digunakan untuk menggantikan sendi lutut tiruan pada manusia [2]. Dalam penggunaannya, keausan material Polyethylene merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi umur pakai sendi lutut tiruan serta dapat menyebabkan osteolysis [2]. Masalah yang timbul di atas perlu diteliti dalam hubungannya dengan upaya untuk mengurangi terjadinya keausan pada komponen pengganti pada sendi lutut tiruan antara *cobalt chrome alloy* dan *polyethylene*. Upaya tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi sifat mekanis dari kedua material tersebut untuk meningkatkan kekerasan, kehalusan permukaan dan menurunkan nilai faktor keausan. Pada material logam, salah satu proses peningkatan kekerasan material yang dapat dilakukan adalah proses implantasi ion. Pada proses ini ion yang digunakan dipercepat dalam medan elektrostatis kemudian ditembakkan kepada permukaan target sehingga dapat meningkatkan kekerasannya dan ketahanan aus [3], untuk meningkatkan sifat ketahanan aus *Polyethylene* dengan metode *die drawing*. Pemrosesan material *polyethylene* adalah dengan menggunakan cara *die drawing* [5].

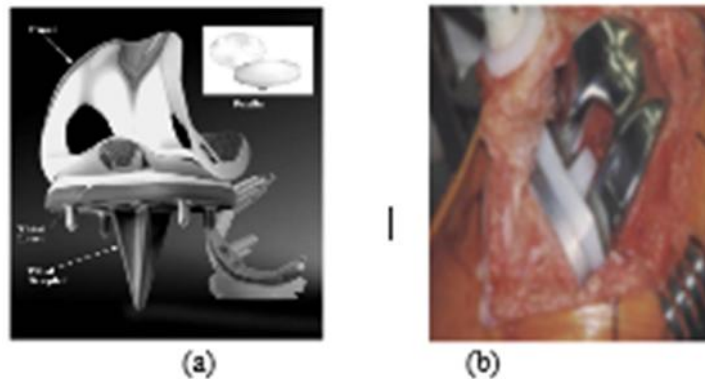


GAMBAR 1 Gambar anatomi lutut manusia

8 November 2017



Gambar 2. Komponen pengganti lutut



GAMBAR 3. (a) Komponen sendi lutut tiruan (b) Operasi sendi lutut tiruan

Berdasarkan hasil studi literatur yang sudah dilakukan, penelitian ini mencoba untuk menyelidiki tentang pengaruh *die drawing* terhadap perubahan sifat mekanik polyethylene.

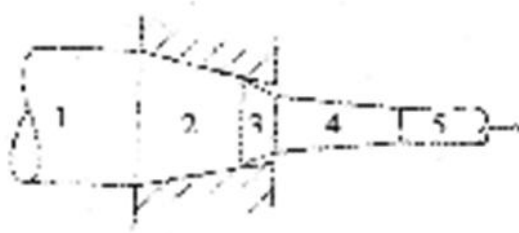
Mekanisme *die-drawing* dengan mengalirkan material pada suatu cetakan dapat dilihat seperti pada gambar 4. Daerah 1 merupakan bagian yang tidak terdeformasi selama pergerakan material belum sampai pada cetakan. Ketika sampai pada daerah 2 maka material akan mengalami deformasi akibat dari kontak dengan dinding cetakan. Terjadinya *necking* atau pengecilan pertama kali pada saat material akan meninggalkan cetakan seperti terlihat pada daerah 3. Daerah dimana terjadi proses tarik secara bebas adalah pada daerah 4, pada daerah ini juga terjadi pendinginan akibat temperatur yang diberikan selama proses tidak sampai pada daerah ini. Pada akhirnya akan tercapai keadaan konstan dari penampang material, yaitu pada daerah 5.

8 November 2017

Nominal draw ratio (R_N) dan *Actual draw ratio* (R_A) digunakan untuk mengukur perilaku deformasi material. R_N merupakan rasio perbandingan antara luas awal material polimer (*original billet cross-sectional area*) pada bagian masuk cetakan pada gambar 4 ditunjukkan daerah 1) dengan luas cetakan pada bagian keluar (die exit cross-sectional area). R_A merupakan rasio perbandingan antara luas awal material polimer (*original billet cross-sectional area*) pada bagian masuk cetakan dengan luas material polimer yang sudah keluar cetakan (pada gambar 4 ditunjukkan daerah 4). Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

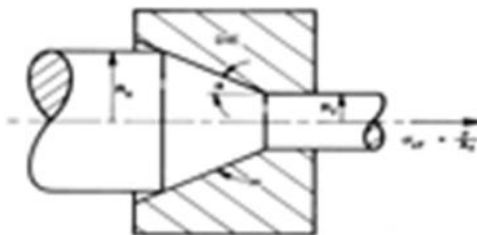
$$R_N = \frac{\text{Original billet cross - sectional area}}{\text{Die exit cross-sectional area}} \quad (2.1)$$

$$R_A = \frac{\text{Original billet cross - sectional area}}{\text{Actual drawn product cross-sectional area}} \quad (2.2)$$



Gambar 4. Daerah pengamatan pada proses *die-drawing* polimer

Variabel independen yang menentukan di dalam proses aliran melalui cetakan yang memusat adalah reduksi, sudut tengah cetakan, faktor gesekan. Variabel independen lainnya seperti kecepatan penarikan, temperature pemanasan yang digunakan, dan sifat material *wire* itu sendiri juga menentukan di dalam proses.



Gambar 5. Gaya drawing

8 November 2017

Variabel independen pertama adalah reduksi (r). Reduksi merupakan pengurangan benda kerja (*wire rod*) dari radius awal (R_0) atau luas awal (A_0) menjadi radius akhir (R_f) atau luas akhir. Variabel independen kedua adalah sudut tengah kerucut (α). Untuk die drawing (A_f). Reduksi dapat diukur oleh rasio radius atau rasio luas.

$$\text{Rasio radius} = \frac{R_0}{R_f} \quad (2.3)$$

$$\text{Rasio luas} = \frac{A_0}{A_f} = \left(\frac{R_0}{R_f}\right)^2 \quad (2.4)$$

$$\text{Reduksi } (r) = \frac{A_0 - A_f}{A_0} = 1 - \frac{A_f}{A_0} = 1 - \left(\frac{R_f}{R_0}\right)^2 \quad (2.5)$$

Dimana r = reduksi

A_0 = luas awal *wire rod*

A_f = luas akhir *wire rod*

R_0 = radius awal *wire rod*

R_f = radius akhir *wire rod*

menggunakan α relative kecil berkisar antara 6^0 sampai dengan 12^0 . Ekstrusi cetakan terbuka dapat menggunakan α sebesar 60^0 . Ekstrusi cetakan tertutup memiliki cetakan berbentuk siku dengan α sebesar 90^0 [4].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Polyethylene yang digunakan dengan berat molekul $4,4 \times 10^6$ g/mol dan berat jenis $9,16 \times 10^{-4}$ gr/mm³.

Alat-alat

Cetakan Aluminium, mesin penarik, Indikator *Heater*, Thermometer digital, Elemen Heater Tipe Plat Strip, Temperature Control, *ThermocoupeI Probe Type K*, Mesin uji tarik, mesin uji kekerasan, mesin uji keausan.

Prosedur penelitian

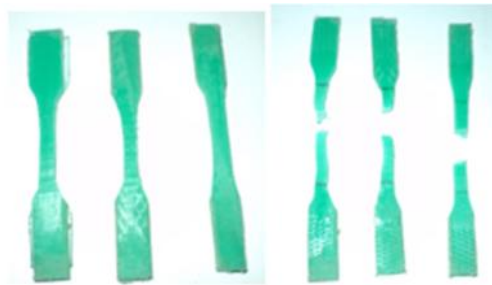
Polyethylene yang telah dibentuk sesuai dengan pola cetakan dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan penjepit (*grip*) bagian bawah mesin penarik agar material dapat ditarik, kemudian ditarik dengan kecepatan tarik mesin 50 mm/menit.

8 November 2017

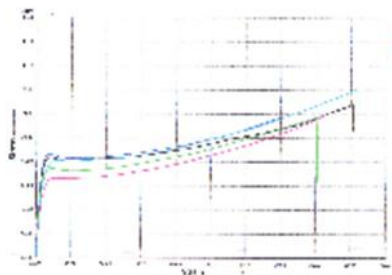
Atur temperature pemanasan *heater* pada alat kontrol temperature dengan memutar jarum analog ketemperatur yang dipilih sesuai urutan percobaan yaitu temperatur 135°C , temperatur 175°C dan temperatur 220°C . Tarik tuas MCB ke posisi menyala (*on*) sehingga peralatan heater berfungsi. Berikan waktu penahanan (*holding time*) pemanasan yang diinginkan sebelum dilakukan penarikan. Apabila lamanya pemanasan sudah mencapai waktu penahanan yang sudah ditentukan. Maka, aktifkan mesin penarik dan mulai proses penarikan (*drawing*), amati proses dan catat nilai variabel respon yang diperoleh (diameter produk), kemudian dilanjutkan dengan proses pengujian-pengujian antara lain: pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengujian keausan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data hasil uji tarik pada gambar 7, 8, dan 9 diperoleh grafik kekuatan tarik dan elongasi pada saat putus untuk material *polyethylene* original dari hasil *draw* ke-1 sampai dengan *draw* ke-3 seperti diperlihatkan pada gambar 6.

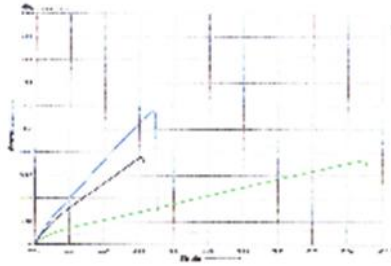


Gambar 6 Sampel uji tarik (a) sebelum di uji tarik (b) setelah di uji tarik

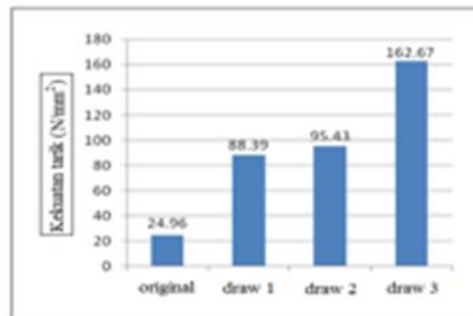


Gambar 7. Diagram Tegangan-Regangan Material Original polyethylene

8 November 2017

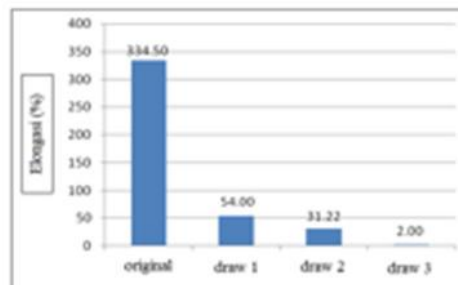


Gambar 8 Diagram Tegangan-Regangan Material Draw Ke-1



Gambar 9. Grafik hasil pengujian kekuatan tarik material polyethylene

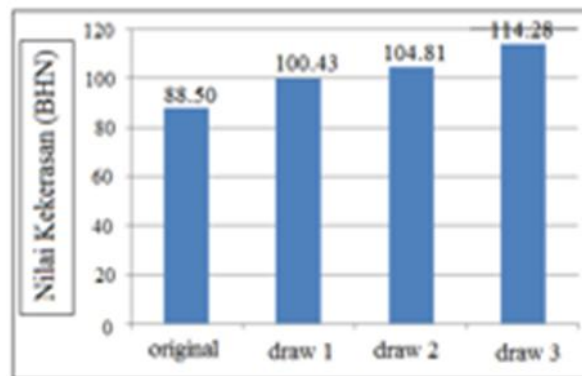
Material *Polyethylene* hasil *die drawing* setelah dilakukan uji tarik pada spesimen yang dibuat searah dengan arah tarikan menunjukkan peningkatan kekuatan tarik. Diperlihatkan bahwa kekuatan tarik berbanding lurus dengan kecepatan penarikan pada proses *die drawing*. Dan pada gambar 8 kurva tegangan-regangan menunjukkan material polyethylene menjadi lebih kuat dan terjadi pengurangan keuletan dibanding material awal. Pengurangan keuletan ini dicirikan dengan berkurangnya elongasi yang secara jelas ditunjukkan pada grafik elongasi pada saat putus gambar 10.



Gambar 10. Grafik elongasi pada saat putus untuk material UHMWPE original dan hasil *draw* ke-1 sampai dengan *draw* ke-3

8 November 2017

Pada gambar 7 menunjukkan nilai luluh yang kecil, hal ini berhubungan dengan perilaku elastik non-linear atau non-proporsional pada daerah elastis. Ikatan sekunder sangat berperan dalam mekanisme ini. Mula-mula akan terjadi pelurusan rantai linear molekul polimer dengan ikatan sekunder. Selanjutnya akan terjadi gelinciran antar rantai molekul yang telah lurus (terorientasi) pada arah garis gaya. Ikatan sekunder dalam hal ini akan berperan sebagai tahanan dalam proses deformasi antar rantai molekul yang sejajar dengan arah garis gaya. Hal ini berakibat pada kristal yang terbentuk menjadi lebih banyak. Semakin panjang rantai molekul suatu polimer material *polyethylene* maka semakin besar energi yang diperlukan untuk mengatasi ikatan-ikatan sekundernya. Oleh karena itu, kekuatan tarik material *polyethylene* menjadi meningkat di dalam mengatasi beban deformasi uniaksial setelah dilakukannya proses *die drawing*. Kenaikan kekuatan tarik *die drawing polyethylene* antara 250% sampai dengan 552 %.



Gambar 11. Grafik hasil pengujian kekerasan material *polyethylen*.

Material *Polyethylene* hasil *die drawing* setelah dilakukan uji kekerasan dengan pengujian berdasarkan nilai kekerasan brinell (BHN) pada spesimen diperlihatkan pada gambar 11, pada grafik menunjukkan peningkatan nilai rata-rata kekerasan, nilai rata-rata kekerasan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur penarikan pada saat proses *die drawing*, material dengan temperature yang lebih tinggi lebih keras dibandingkan dengan material *polyethylene* original sebelum dilakukan *die drawing*. Dengan bertambahnya nilai temperatur pada proses *die drawing* peningkatan nilai rata-rata kekerasan semakin meningkat pula, hal ini disebabkan karena material *polyethylene* semakin mudah untuk proses penarikan sehingga orientasi material *polyethylene* semakin menuju dan mengarah pada keseragaman pola orientasi pada proses tersebut, hal ini dapat terlihat dari peningkatan nilai rata-rata kekerasan. Kenaikan nilai rata-rata kekerasan proses *die drawing polyethylene* antara 14% sampai dengan 28%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan Bahwa proses die drawing berpengaruh terhadap sifat mekanik *polyethylene*, proses *drawing* juga dapat dipengaruhi oleh temperatur penarikan semakin besar temperatur sifat mekanik material semakin. rata-rata kenaikan nilai kekuatan tarik polyethylene sebesar 250%-552%, untuk nilai rata-rata kekerasan kenaikan antara 14%-28% sedangkan untuk rata-rata faktor keausan mengalami penurunan sebesar 23%-47%.

REFERENSI

- [1] Paul J. P., Force Actions Transmitted by Joints in the Human Body, Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, Vol. 192, No. 1107, 1976.
- [2] Fang H., Hsu S. M., dan Sengers J. V., UltraHigh Molecular Weight Polyethylene Wear Particle Effects on Bioactivity, NIST Special Publication 1002, 2003.
- [3] Hutchings I.M., Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials, Arnold, London, 1995.
- [4] Avitzur, B., Handbook of Metal Forming Processes, New York, John Wiley and Sons Inc, 1983.
- [5] Dharmastiti, R., Barton, D.C., Fisher, J., Eddin, A., dan Kurtz, S., The Wear of Oriented UHMWPE under Isotropically Rough and Scratched Counterface Test Conditions, Bio-Medical Materials and Engineering 11, hal. 241 – 256, 2001.

Peningkatan Kekerasan Baja Karbon Rendah dengan Menggunakan Cangkang Telur

M. Fajar Sidiq^{1,A)}, M. Agus Shidiq^{2,B)}, & Soebyakto^{2,C)}

1Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal.

2Program Studi Teknik Mesin D3, Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal.

^{a)}fs080879@gmail.com

Abstract.

Generally industries in Indonesia want cheap materials but high quality, of course this is very difficult to get without any treatment on the material, therefore required alternative materials that can be used as a replacement for the price remains cheap. One way that can be used is to improve the quality of the material. The quality of the material can be increased by increasing the hardness of the material. In this study the method used is by carburising process by using egg shell as an additional source of carbon with variations of the use of cooling media. Carburising is a heat treatment method used to increase hardness in low carbon steels. From the test results obtained increased hardness of steel material st-41. Non-treated steel material has a hardness level of 114 HB, increased hardness after carburising process with an egg shell media with HB 120 freshwater cooling medium. When experiencing carburising process with coolant cooling medium experienced a significant increase of hardness 146.3 HB.

Keywords: powder, eggshell, carburising, increased hardness

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Disamping itu baja juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan(Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon di pengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja.

Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, salah satunya adalah baja karbon rendah.

8 November 2017

Kekurangan dari baja karbon rendah adalah nilai kekerasan yang rendah, kekuatan gesek yang rendah, mudah retak yang akan menyebabkan umur dari komponen yang menggunakan baja karbon rendah menjadi relative pendek. Untuk mengatasi kekurangan dari baja karbon rendah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan proses heattreatmen.

Proses heattreatmen yang cocok bagi baja karbon rendah adalah proses karburising, yaitu peningkatan karbon pada permukaan baja sehingga permukaan baja. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah dengan menambahkan unsur karbon dari luar. Unsur karbon yang didapatkan kali ini dari serbuk cangkang telur bebek yang banyak terdapat di sekitar. Dengan menggunakan limbah sampah cangkang telur tadi, selain dapat meningkatkan sifat mekanis logam maka akan dapat mengurangi limbah sampah yang ada dimasyarakat

Dengan metode ini bahkan dapat menghasilkan sifat unggul pada baja karbon rendah yang telah terkarburisasi tersebut, yaitu permukaan baja memiliki kekerasan yang cukup tinggi sedangkan pada bagian inti baja akan tetap mempertahankan sifat baja karbon rendah, yaitu ulet. Dengan perpaduan dua sifat tersebut diharapkan baja karbon rendah hasil karburisasi akan menjadi lebih tinggi kualitasnya.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Baja karbon mempunyai kekerasan yang bervariasi bergantung pada seberapa banyak kadar karbon yang ada pada baja tersebut. Namun, ada kalanya pada kadar karbon yang sama juga mempunyai nilai kekerasan yang berlainan. Hal tersebut dapat terjadi mungkin diakibatkan oleh proses manufacturing yang berbeda-beda pada baja. Sehingga, kita perlu mempelajari fenomena-fenomena pengerasan pada baja karbon supaya kita bisa mendapatkan baja karbon sesuai dengan spesifikasi yang kita inginkan.

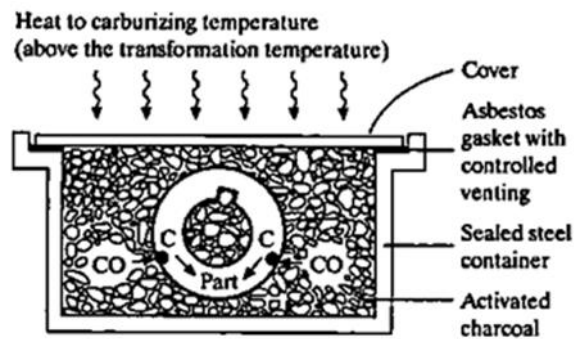
Baja ST 41 termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. ST 41 ini menunjukkan bahwa baja ini dengan kekuatan tarik ± 41 kg/mm², (diawali dengan ST dan diikuti bilangan yang menunjukkan kekuatan tarik minimumnya dalam kg/mm²). Baja ST 41 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, dengan adanya perlit dan ferit karena perlit yang ada lebih banyak dari pada ferit.

8 November 2017

Aplikasi baja ST 41 antara lain : Digunakan untuk kawat, paku, wire mesh, peralatan automotif dan sebagai bahan baku welded fabrication (kisi - kisi jendela atau pintu dan jeruji). Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan.

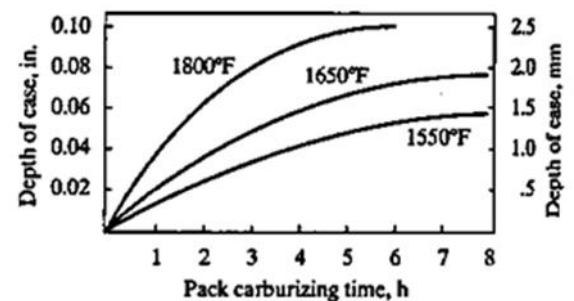
2.2 Metode

Heat Treatment merupakan proses perubahan sifat logam, terutama baja, melalui perubahan struktur mikro dengan cara pemanasan dan pengaturan laju pendinginan. Heat treatment merupakan mekanisme penguatan logam dimana logam yang akan kita ubah sifatnya sudah berada dalam kondisi solid. Dalam heat treatment kita memanaskan specimen sampai dengan temperature austenisasinya.



GAMBAR 1. Proses Pack Carburizing

(Sumber : Fontaine 1963)



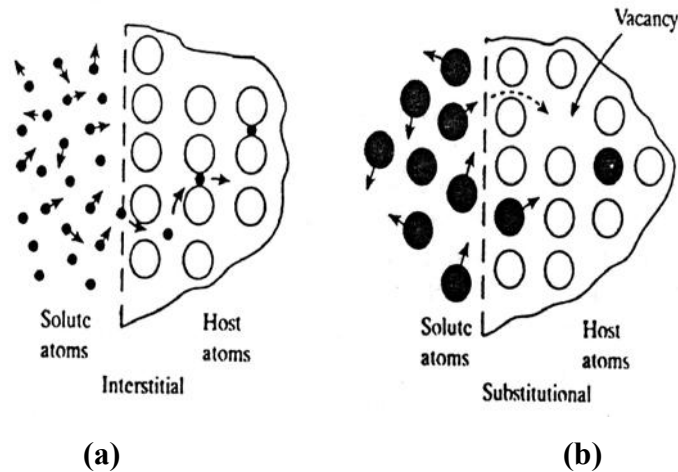
GAMBAR 2. Pengaruh Waktu Karburising Terhadap Kedalaman kekerasan

Penambahan karbon yang disebut *carburizing* atau karburasi merupakan salah satu jenis dari perlakuan panas dengan tujuan untuk meningkatkan kadar karbon pada permukaan baja untuk dapat meningkatkan kekerasan dari logam tersebut.

Karburisasi adalah proses penambahan atom karbon ke dalam permukaan baja pada temperatur austenisasi dimana fasa austenit stabil dengan kelarutan karbon yang tinggi yang kemudian diikuti dengan perlakuan pendinginan secara cepat (quenching). Proses karburisasi akan terjadi melalui mekanisme difusi, difusi sendiri adalah gerak spontan dari atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam. Sesuai dengan hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan substrat merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi.

8 November 2017

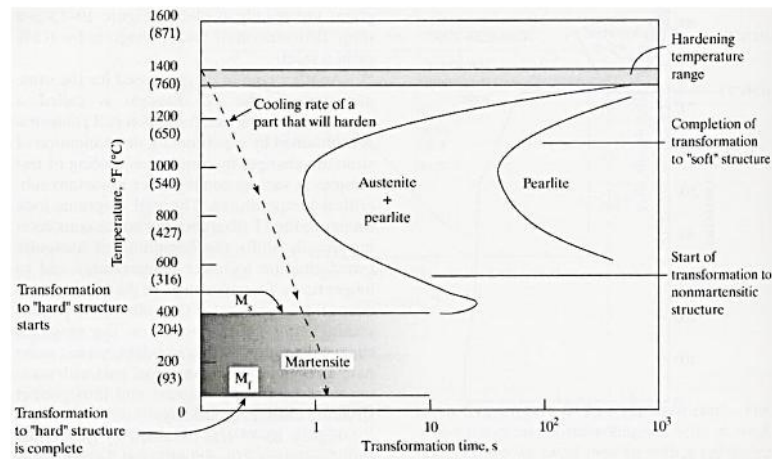
Gradien konsentrasi adalah jumlah atom yang terdapat disekitar substrat di bandingkan dengan jumlah atom yang terdapat di dalam substrat. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi yaitu, temperatur, komposisi dan waktu.



GAMBAR 3. Pemodelan terjadinya proses difusi: (a) Secara Interstisi, (b) Secara Substitusi (Sumber : Fontaine 1963)

Dalam proses karburisasi, konsentrasi karbon dalam atmosfer sangat mempengaruhi kedalaman atom karbon yang masuk ke dalam baja yang kemudian diikuti dengan proses quenching. Quenching sendiri merupakan proses pendinginan yang dilakukan secara cepat pada suatu komponen logam dari temperatur austenisasi ke temperatur dimana fasa yang kita inginkan dapat terbentuk, pada baja umumnya adalah struktur martensit. Quenching dapat dikatakan berhasil apabila telah mampu memperoleh struktur mikro, kekerasan, kekuatan maupun ketangguhan yang diinginkan dengan tetap meminimalisasi munculnya tegangan sisa, distorsi dan kemungkinan terjadinya retak pada logam.

8 November 2017



GAMBAR 3.TTT Diagram Baja (Sumber : Fontaine 1963)

Pemilihan media quench yang digunakan tergantung pada kekerasan material, ketebalan dan geometri bahan, serta kecepatan pendinginan supaya mendapatkan struktur mikro yang diinginkan. Dalam penelitian kali ini, media quench yang dipilih adalah air tawar dan air yang ditambah coolant.

2.3 Pengujian

Ada beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya :

- Pengujian Komposisi Logam

Pengujian Komposisi ialah suatu pengujian yang di lakukan untuk mengetahui bahan kandungan atau campuran pada suatu logam.

- Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini fungsinya untuk mengetahui nilai kekerasan, keliatan dari bahan uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi

Pengujian pertama yang kita lakukan adalah pengujian komposisi logam terhadap material yang digunakan. Pengujian ini kita lakukan untuk memastikan bahwa logam yang kita gunakan memang benar ST-41 dengan karakteristik mempunyai kadar karbon rendah.

8 November 2017

TABEL.1 Hasil pengujian komposisi logam

Unsur	Chemical Composition (%)		
	N1	N2	Test Result
C	0,09	0,08	0,09
Si	0,01	0,00	0,01
Mn	0,25	0,26	0,26
P	0,03	0,02	0,02
S	0,04	0,03	0,03
Cr	0,02	0,02	0,02
Mo	0,00	0,00	0,00
Ni	0,01	0,01	0,01
Al	0,05	0,05	0,05
Co	0,00	0,00	0,00
Cu	0,03	0,03	0,03
Nb	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00
V	0,00	0,00	0,00
W	0,03	0,03	0,03
Pb	0,01	0,01	0,01
Sn	0,01	0,01	0,01
As	0,00	0,00	0,00
Zr	0,00	0,00	0,00
Ce	0,00	0,00	0,00
Ce	0,01	0,01	0,01
B	0,00	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00
La	0,00	0,00	0,00
Fe	99,4	99,4	99,4

Dari hasil pengujian terlihat bahwa material yang digunakan memang memiliki kadar karbon yang cukup rendah yaitu 0,09% sehingga untuk dapat ditingkatkan kekerasannya maka memerlukan tambahan unsur karbon dari luar, sehingga metode karburising sangat cocok digunakan dalam perlakuan panas ini.

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Data awal hasil penelitian didapatkan kekerasan material awal tanpa adanya perlakuan seperti tabel berikut :

TABEL.2 Hasil Pengujian Spesimen awal

No	Sebelum karburising	Kekerasan rata-rata
1	118 HB	
2	113 HB	114,67 HB
3	113 HB	

Dari hasil pengujian terlihat bahwa kekerasan yang dimiliki oleh material mempunyai kisaran 114,67 HB, kekerasan ini cukup rendah jikalau material tersebut memperoleh beban yang berlebihan. Setelah dilakukan proses karburising dengan menggunakan media cangkang telur bebek dengan temperature 900⁰C dengan waktu penahanan 30 menit dan media quenching air tawar didapatkan peningkatan kekerasan material hasil pengujian seperti pada tabel berikut :

8 November 2017

TABEL.3 Hasil uji spesimen setelah di lakukan proses karburising media quenching air tawar

No	Karburising quenching air tawar	Kekerasan rata-rata
1	120 HB	
2	120 HB	120 HB
3	120 HB	

Dari hasil pengujian proses karburising dengan menggunakan media cangkang telur bebek dengan temperature 900⁰C dengan waktu penahanan 30 menit dan media quenching air tawar didapatkan nilai kekerasan dari material sebesar 120 HB, mengalami kenaikan sedikit dari material awal tanpa perlakuan.

Setelah dilakukan karburising dengan perbedaan media quenching dengan menggunakan coolant didapatkan peningkatan kekerasan yang cukup signifikan, dapat kita lihat pada tabel berikut:

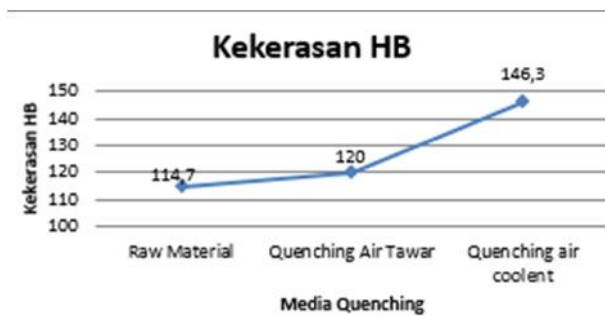
TABEL.3 Hasil uji spesimen setelah di lakukan proses karburising media quenching air pendingin

No	Karburising quenching coolant	Kekerasan rata-rata
1	147 HB	
2	147 HB	146.3 HB
3	145 HB	

Dari hasil pengujian diatas terlihat bahwa kekerasan material mengalami peningkatan yang cukup signifikan sebesar 146.3 HB. Pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur dengan media water coolant dapat meningkatkan kekerasan logam karbon rendah dengan cukup signifikan.

8 November 2017

3.3 Pembahasan



GAMBAR 4. Grafik Perbandingah Hasil Uji Kekerasan

Dari grafik hasil pengujian dapat kita lihat bahwa ketika dilakukan quenching dengan menggunakan air tawar kenaikan kekerasan yang terjadi tidak begitu signifikan, kenaikan yang terjadi dari 114,67 HB menjadi 120 HB, hal ini mungkin disebabkan martensit yang terbentuk belum banyak dikarenakan kecepatan pendinginan yang terlalu rendah. Ketika digunakan media coolant perpindahan panas dari material ke media pendingin berlangsung sangat cepat sehingga martensit yang terbentuk menjadi lebih banyak, hal ini menyebabkan kekerasan dari material ST-41 menjadi meningkat dengan cukup tinggi menjadi 146,3 HB.

4. KESIMPULAN

Baja karbon rendah dapat ditingkatkan kekerasannya dengan metode perlakuan panas karburasi. Melalui proses karburasi dengan serbuk arang cangkang telur dan media quench air tawar dan air campran coolant kekerasan baja ST 41 meningkat. Nilai kekerasan rata-rata baja ST 41 sebelum proses karburasi adalah 114,67 HB, sedangkan nilai kekerasan rata-rata baja ST 41 sesudah proses karburasi dengan quenching air tawar mengalami peningkatan yang sedikit yaitu 120 HB. Peningkatan kekerasan yang cukup signifikan terjadi pada baja ST 41 sesudah proses karburasi dengan quenching air coolant 146,3 HB, hal ini dikarenakan media coolant perpindahan panas dari material ke media pendingin berlangsung sangat cepat sehingga martensit yang terbentuk menjadi lebih banyak, hal ini menyebabkan kekerasan dari material ST-41 menjadi meningkat dengan cukup tinggi, tapi perlu diperhatikan kemampuan material dalam menghadapi distorsi akibat pendinginan yang sangat cepat. Untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi akibat proses ini maka perlu dilakukan pengujian struktur mikro untuk melihat apakah memang terbentuk struktur martensit akibat kecepatan pendinginan.

REFERENSI

1. Amstead, BH, 1997. Teknologi Mekanika Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
2. Darmanto, 2006, Pengaruh Holding Time Terhadap Sifat Kekerasan Dengan Refining The Core Pada Proses Carburizing Material Baja Karbon Rendah, Jurnal Traksi Vol 4, No.2
3. Darmawan, A., & Sidiq, F. 2017. Pengaruh Temperatur Carburizing Pada Proses Pack Carburizing Terhadap Sifat–Sifat Mekanis Baja S 21 C. Engineering, 14(1).
4. Djaprie, 1993. Metalurgi Mekanik Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
5. G.M. Enos and Fontaine, 1963, Elements of Heat Treatment, New York, Jhon Wiley & Sons, Inc.
6. Muhammad Iqbal, 2014, Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis Pada Proses Pengkarbonan Padat Baja Karbon Rendah, Jurnal, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara.
7. Mujiyono dan A. L. Sumowidagdo, 2008, Meningkatkan Efektifitas Karburasi Padat Pada Baja Karbon Rendah Dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa, Jurnal Teknik Mesin, April 2008/vol 10/No:1
8. Nyeyep Sriwardani, 2008. Process Heat Treatment, Percetakan UNS, Surakarta.
9. Sasi Kirono, 2014. Pengaruh Tempering pada Baja ST 37 yang Mengalami Karburasi Padat Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro, Universitas Diponegoro, Semarang.

8 November 2017

Performance Modification Of Magnesium Anodes By Heat Treatment

Asep Ridwan Setiawan^{1,A}, & Arif Basuki^{1,B}

¹Research Groups of Materials Science and Engineering, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

^aasep.ridwans@material.itb.ac.id ^barifbasuki@material.itb.ac.id

Abstract

Magnesium are commonly used as a sacrificial anodes in cathodic protection due to its high driving force voltage, especially for application where the electrolytes resistivity is high. However, Magnesium anodes generally have a current efficiency (<50%) lower than that of other galvanic anodes, such as Aluminium and Zinc (>90%). Therefore, current interest in improving the efficiency of magnesium anodes is significantly increasing. In this work, commercial magnesium anodes are heat treated at 300 °C with different holding time (8 or 16 h) and cooling rate (furnace or air cooling). The anodes were evaluated using ASTM G 97 for a standard test along with a technique of electrochemical polarization methods. The anodic efficiency was determined, showing an increase up to 7 % efficiency compared to the non treated Magnesium anode. The corrosion behavior of heat treated Mg anodes are varied. The increase in efficiency, and variation of corrosion rate was strongly related to the microstructural characteristics.

Keywords: Anodes, Corrosion, Electrochemical, Heat Treatment, Magnesium.

PENDAHULUAN

Anoda korban Magnesium umum digunakan pada sistem proteksi katodik saluran pipa (*pipeline*) yang mendistribusikan minyak atau gas dan beroperasi di bawah tanah (*underground area*). Anoda jenis ini cocok untuk diaplikasikan pada lingkungan yang memiliki hambatan tinggi dimana potensial reduksi yang rendah dan current output per unit weight yang tinggi dibutuhkan. Mengingat fakta bahwa Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat produksi minyak terbesar di dunia (urutan ke-22 dengan produksi 974.300 bbl/hari [1]) maka penggunaan anoda magnesium patut mendapatkan perhatian untuk memastikan distribusi minyak dan gas pada pipeline tidak terganggu oleh korosi.

8 November 2017

Anoda magnesium memiliki nilai efisiensi yang cukup rendah (<50 %) dibandingkan dengan anoda korban aluminium dan seng (keduanya lebih dari 90 %) [2]. Hal ini membuat kebutuhan anoda korban untuk melindungi logam lain dari korosi lebih banyak dibandingkan dengan anoda korban jenis lain. Anoda korban Magnesium yang beredar di pasar Indonesia biasanya merupakan produk impor yang diproduksi oleh beberapa negara diantaranya Cina, Australia, Amerika Serikat, dan Kanada [3,4,5,6]. Anoda tersebut biasanya harus diuji kualitasnya sebelum digunakan untuk memastikan kualitasnya. Pengujian kualitas anoda umumnya dilakukan berdasarkan standard ASTM G 97.

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan kualitas anoda korban Magnesium, diantaranya adalah dengan mengatur jumlah pengotor yang ada pada Magnesium, menambahkan unsur paduan, dan mengontrol struktur mikro nya [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses perlakuan panas terhadap efisiensi dan laju korosi dari anoda Magnesium. Kaitan antara struktur mikro Magnesium hasil perlakuan panas dengan karakteristik korosi nya akan di bahas.

METODA EKSPERIMEN

Persiapan spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan magnesium yang dipakai sebagai anoda korban. Untuk mengetahui komposisi kimia dari anoda magnesium tersebut dilakukan karakterisasi kimia dengan metode Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Hasil pengujian AAS adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi anoda Magnesium Komersial (% Berat)

Mg	Al	Zn	Mn	Fe	Ni	Cu	Si
Balance	0.58	0.34	1.29	0.26	0.005	0.006	0.70

Spesimen uji korosi dibuat dengan cara memotong anoda korban hasil coran (*as cast*) sepanjang 180 mm (ambil bagian tengah) kemudian dipotong hingga mencapai bentuk persegi panjang berdimensi 180 mm x 16 mm x 16 mm. Setelah didapatkan potongan berbentuk persegi panjang lakukan proses pembubutan (*machining*) hingga didapatkan lima buah spesimen berbentuk tabung dengan dimensi panjang 152 mm dan diameter 13 mm.

8 November 2017

Proses perlakuan panas

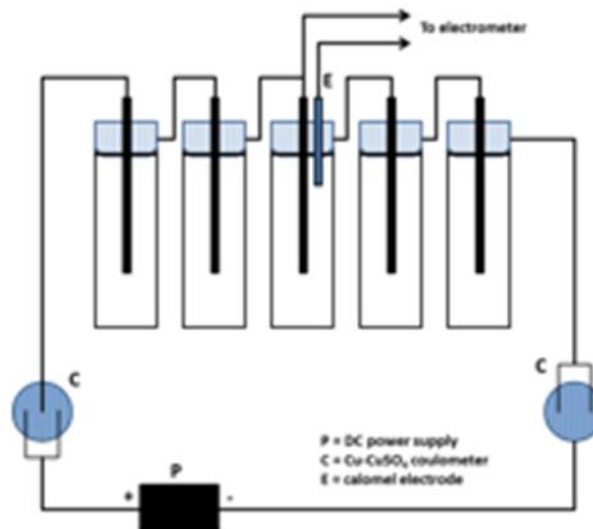
Spesimen yang telah memenuhi kriteria berdasarkan ASTM G97 diberi perlakuan panas pada temperature 300 °C. Kelima spesimen mengalami waktu perlakuan panas dan laju pendinginan yang berbeda-beda, seperti ditunjukkan pada Table 2. Proses perlakuan panas dilakukan di ITB menggunakan tungku tahanan listrik Narbertherm.

Tabel 2. Parameter perlakuan panas

Waktu HT (jam)	As-cast	8	8	16	16
Laju pendinginan	-	Air cooling	Furnace cooling	Air cooling	Furnace cooling

Evaluasi kinerja anoda Magnesium

Proses evaluasi kinerja anoda magnesium pada penelitian ini dilakukan berdasarkan ASTM G-97. Pada pengujian ini, dua sifat yang menjadi parameter kualitas anoda magnesium, yaitu open & closed circuit potential dan ampere hours (Ah) yang dihasilkan per unit massa anoda yang terkorosi diukur. Pengujian dimulai dengan mengalirkan arus listrik kedalam rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar 1. Selama pengujian berlangsung proses pengukuran open & closed circuit potensial dilakukan setiap 12 jam dan satu jam setelah arus listrik diputus (percobaan selesai). Pengukuran potensial menggunakan elektroda standard jenis calomel.



Gambar 1. Rangkaian pengujian korosi menurut ASTM G76

8 November 2017

Pengukuran

Spesimen yang telah dievaluasi kinerjanya selanjutnya dibersihkan dari oksida magnesium yang terbentuk selama proses pengujian menggunakan larutan asam kromat (H_2CrO_3) pada temperature 60 °C selama 30 menit. Lalu spesimen dimasukkan kedalam air untuk membersihkan sisa-sisa larutan yang masih menempel. Spesimen yang telah kering kemudian ditimbang beratnya menggunakan alat timbang elektronik. Selanjutnya spesimen tersebut di metallografi untuk dilihat dari struktur mikronya menggunakan mikroskop optik. Larutan etsa yang digunakan adalah asam oksalat.

Pengujian korosi

Spesimen Magnesium yang telah diberi perlakuan panas juga di evaluasi ketahanan korosinya dalam larutan 3% NaCl menggunakan metoda polarisasi Tafel. Spesimen Magnesium di set sebagai elektroda kerja (*working electrode*), batang grafit sebagai elektroda lawan (*counter electrode*), dan Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding (*reference electrode*). Spesimen dipolarisasi sebesar ± 250 mV dari nilai potensial keseimbangannya menggunakan potensio/galvanostat Versastat 3. Dari kurva polarisasi yang diperoleh, nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (i_{corr}) dari setiap spesimen ditentukan.

HASIL DAN DISKUSI

Analisa kinerja anoda Magnesium

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap spesimen ditunjukkan pada Tabel 3.

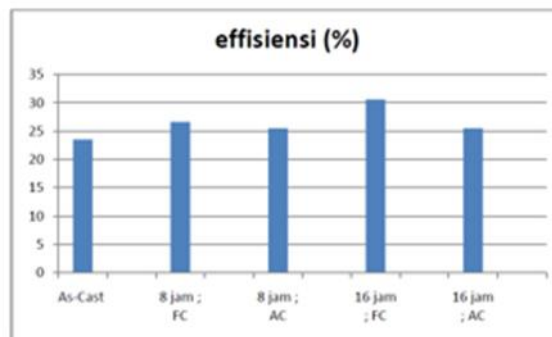
Tabel 3. Data nilai *open & closed circuit potential* yang telah diuji berdasarkan ASTM G-97

Jam	Potential (V)				
	as-cast	8 jam ; AC	8 jam ; FC	16 jam ; AC	16 jam ; FC
	I	II	III	IV	V
12	-1.5	-1.35	-1.25	-1.35	-1.3
24	-1.5	-1.35	-1.25	-1.35	-1.3
36	-1.45	-1.35	-1.25	-1.35	-1.25
48	-1.5	-1.35	-1.25	-1.35	-1.3
60	-1.5	-1.35	-1.25	-1.35	-1.25
72	-1.5	-1.35	-1.3	-1.35	-1.3
84	-1.45	-1.35	-1.25	-1.35	-1.3
96	-1.5	-1.35	-1.25	-1.35	-1.3
Rata-rata	-1.49	-1.35	-1.26	-1.35	-1.29
97 (open closed potential)	-1.65	-1.6	-1.5	-1.6	-1.5

8 November 2017

Dari data diatas dapat terlihat bahwa terjadi perbedaan antara nilai *open & closed potential circuit* pada spesimen yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan spesimen yang tidak mengalami proses perlakuan panas. Nilai OCP (*Open Circuit Potential*) spesimen (III) dan (V) menurun sebesar 9 % (dari -1.65 V menjadi -1.5 V) sedangkan spesimen (II) dan (IV) menurun sebesar 3 % (dari -1.65 V menjadi -1.6 V) jika dibandingkan dengan nilai OCP spesimen as-cast . Nilai CPC (*Closed Circuit Potential*) pun mengalami penurunan spesimen (II) dan (IV) menurun sebesar 9.24 % (dari - 1.4875 V menjadi -1.35%) , spesimen (V) menurun sebesar 13.45 % , dan spesimen (III) mengalami penurunan terbesar yaitu sebesar 15.55 % (dari - 1.4875 V menjadi -1.2563 V) jika dibandingkan dengan nilai CPC spesimen as-cast. Hal ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas mengubah nilai potensial anoda magnesium baik *Open Circuit Potential* maupun *Closed Potential Circuit*.

Efisiensi dari spesimen yang telah mengalami proses perlakuan panas mengalami peningkatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai efisiensi yang diperoleh merupakan perbandingan antara effective current capacity dan theoretical current capacity (2.204623 Ah/g) [8]. Spesimen (V) mengalami peningkatan efisiensi terbesar yaitu menjadi 30.6 % dibandingkan dengan efisiensi spesimen As-Cast (23.5%).



Gambar 2. Nilai efisiensi spesimen Magnesium

Analisis Permukaan Spesimen

Permukaan spesimen yang telah diuji korosi dikarakterisasi untuk menentukan jenis korosi yang terjadi dan kedalaman korosinya. Metode yang digunakan untuk menentukan jenis korosi ialah visual inspection. Spesimen as-cast mengalami korosi sumuran (pitting) begitu pula dengan spesimen (II) dan (III) sedangkan spesimen (IV) dan (V) mengalami korosi seragam (uniform).

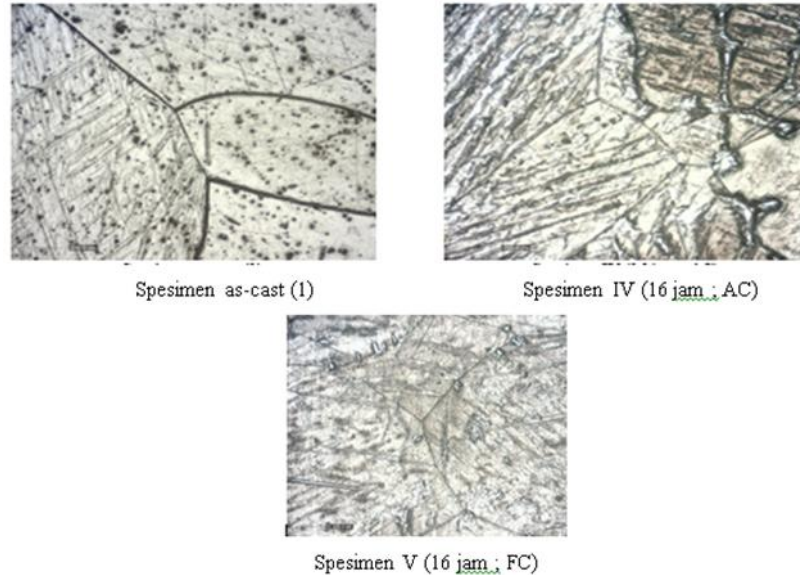
8 November 2017

Walaupun proses perlakuan panas pada spesimen (II) dan (III) tidak mengubah bentuk korosi namun secara visual korosi sumuran pada spesimen (II) dan (III) lebih sedikit dibandingkan dengan korosi sumuran pada spesimen (I). Secara umum proses perlakuan panas menurunkan perubahan massa yang terjadi setelah uji korosi. Spesimen (V) yang mengalami korosi seragam memiliki perubahan massa yang paling kecil (2 gr). Hal ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas yang dilakukan pada penelitian ini meningkatkan nilai efisiensi anoda magnesium.

Analisis Struktur Mikro

Struktur mikro diamati pada spesimen as-cast (I) , (IV) , dan (V) ditunjukkan pada Gambar 3. Dari ketiga spesimen tersebut terlihat bahwa spesimen *as-cast* memiliki stuktur yang berbentuk seperti jarum (*neddle-like structure*) di dalam matrix. Proses perlakuan panas selama 16 jam membuat struktur *neddle like* ini tumbuh. Struktur *neddle like* pada Spesimen (IV) terlihat lebih tebal dibandingkan dengan spesimen *as-cast* dan spesimen (V) memiliki struktur *neddle like* yang lebih banyak dan lebih tebal dibandingkan dengan spesimen *as-cast* dan spesimen (V). Hal ini menunjukkan laju pendinginan mempengaruhi pertumbuhan strktur *neddle like* ini. Spesimen yang didinginkan dengan laju pendinginan lambat. (*furnace cooling*) memberikan waktu atau kesempatan bagi struktur *needle like* untuk lebih banyak terbentuk dan tumbuh. Struktur *neddle like* ini diduga berpengaruh terhadap ketahanan korosi anoda magnesium. Spesimen (V) memiliki efisiensi yang paling tinggi hal ini disebabkan oleh presentasi struktur *neddle-like* yang paling banyak dibandingkan dengan spesimen lain. Struktur *neddle like* memiliki potensial reduksi yang lebih rendah dibandingkan Magnesium. Magnesium akan menjadi anoda dan struktur *neddle like* akan menjadi katoda sehingga korosi akan terjadi di tempat yang tidak terdapat struktur *needle like* seperti di sekitar batas butir. Oleh karena itu, ketahanan korosi anoda magnesium meningkat. Hal inilah yang menjelaskan mengapa spesimen (IV) & (V) mengalami korosi lebih seragam.

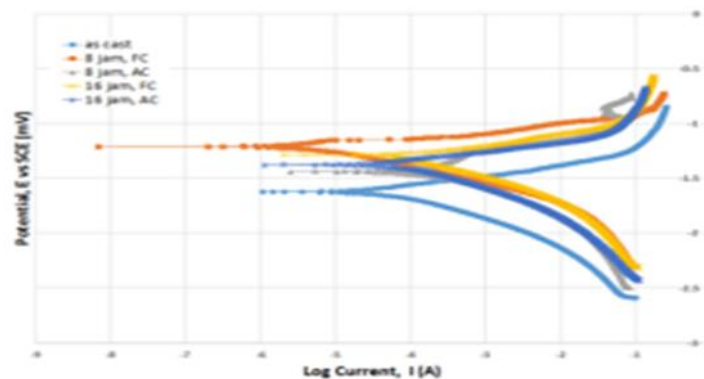
8 November 2017



Gambar 3. Struktur mikro Magnesium (a) As-Cast (b) 16 jam ; FC (c) 16 jam AC

Analisis pengujian korosi

Kurva polarisasi yang diperoleh dari hasil pengujian korosi dengan metoda Polarisasi Tafel ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut, dapat dilihat bahwa karakteristik korosi dari anoda Magnesium berubah akibat proses perlakuan panas yang diberikan. Nilai potensial korosi dan arus korosi yang diperoleh dari kurva polarisasi ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 4. Kurva polarisasi hasil pengujian korosi

Dari Tabel tersebut terlihat bahwa spesimen (III) memiliki laju korosi yang paling cepat. Proses perlakuan panas dengan pendinginan di udara (*air cooling*) menghasilkan struktur mikro yang

8 November 2017

memiliki banyak needle like structure. Keberadaan needle like structure yang banyak, menjadikan korosi yang dialami oleh magnesium lebih beragam dibandingkan spesimen as-cast.

Tabel 4. Nilai Ecorr dan Icorr dari Magnesium setelah perlakuan panas

Spesimen	Ecorr	Icorr (μA)	CR (mpy)
As cast (I)	-1.588	38.73	34.63
8 jam, FC (II)	-1.207	6.90	6.17
8 jam, AC (III)	-1.426	157.40	140.74
16 jam, FC (IV)	-1.293	94.62	84.61
16 jam, AC (V)	-1.373	88.72	79.33

KESIMPULAN

1. Proses perlakuan panas meningkatkan efisiensi namun menurunkan nilai potensial anoda magnesium
2. Anoda magnesium mengalami perubahan nilai Open Potential Circuit, Closed Potential Circuit, dan efisiensi disebabkan oleh meningkatnya jumlah struktur needle like yang disebabkan oleh proses perlakuan panas

REFERENSI

1. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2241rank.html> diakses tanggal 26 Desember 2013 jam 22.22 WIB.
2. B. Campillo, C. Rodriguez, J. Genesca, J. Juarez-Islas, O. Flores, L.Martinez ; Effect of Heat Treatment on the Efficiency of Mg Anodes , 1997.
3. <http://www.polcor.com/> diakses tanggal 26 Desember 2013 pada pukul 22.00 WIB
4. <http://www.savcorproducts.com.au/htdocs/contacts.htm> diakses tanggal 26 Desember 2013 pada pukul 22.01 WIB
5. <http://www.galvotec.com/contact.htm> diakses tanggal 26 Desember 2013 pada pukul 22.03 WIB
6. <http://www.martyranodes.com/content/contact-martyr/index.php> diakses tanggal 26 Desember 2013 pada pukul 22.02 WIB
7. Fontana , Mars G. ; Corrosion Engineering ; 1987
8. <http://www.magnesium.com/w3/data-bank/index.php?mgw=217> diakses tanggal 12 Februari 2014 jam 13.18

8 November 2017

Alternatif Proses Pelapisan Tebal Pada Proses Remanufaktur Rod Silinder Hidrolik

Taufiqullah ^{1,A)}, R.D. Ramdan ^{2,B)}, Y. Yuwana ^{1,C)}, A Ramelan ^{2,D)}, R. Setiawan ^{1,E)}, &
R. Suratman ^{2,F)}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung. ²Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

a) taufiq@komi.co.id b) radendadanramdan@gmail.com c) yatna@ftmd.itb.ac.id

d) ramelan@material.itb.ac.id e) rachmans@edc.ms.itb.ac.id f) rochim@material.itb.ac.id

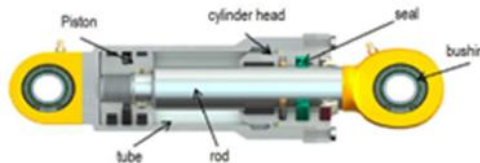
Abstract.

Hard chromium plating is one of coating method that commonly used in salvaging process on surface of hydraulic cylinder rods in remanufacturing industry due to has good performance in wear and corrosion resistance. Currently, thickness of hard chromium plating for those rods are vary from 100 μ m to 250 μ m. The increasing thickness of hard chromium plating (>250 μ m) has risk decreasing of mechanical properties of plating layer as well as decrease its adhesion properties. The objective of study is to obtain innovative method of electroplating process that influence in increasing the thickness as well as enhanced mechanical properties. Electroplating is normally performed at temperature below 100^oC, and therefore this process will not create sufficient diffusion of plating element into the substrate. Therefore, it is predicted that rather than chemical bonding, mechanical bonding play important role on the bonding between substrate and the plating layer. Based on this condition, it is important to perform pre-treatment process on the substrate before the plating process, by which modification on the substrate surface can be obtained, such as by shot blasting process in order to create certain surface roughness that is expected being sufficient for the mechanical locking between substrate surface and plating layers. In addition, shot peening on the substrate before plating process will also applied to reduce the residual stresses at the interface between substrate and plating layer. In addition, one method that normally applied in order to obtain thicker layer is by multiple plating process. Since bonding of the second plating layer is usually worse than the first layer, it is required similar pre-treatment as the substrate such as by blasting process on the first plating layer in order to create better bonding characteristic of the second layer.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Remanufaktur adalah sebuah proses mengubah kondisi produk yang terpakai menjadi seperti produk baru dengan sejumlah garansi kualitas dari perusahaan. Rata-rata produk remanufaktur mempunyai harga berkisar antara 45-65% dari produk baru dengan kondisi produk sekitar 85% dari produk baru. Hal ini menimbulkan ketertarikan pasar terhadap produk remanufaktur karena harganya yang lebih murah dan kondisinya yang tidak jauh berbeda dengan produk baru [1]. Saat ini, produk remanufaktur di Indonesia terutama untuk komponen alat berat terdiri atas enjin, pompa hidrolik, transmisi, dan silinder hidrolik.



Gambar 1. Bagian utama komponen silinder hidrolik

Di industri remanufaktur komponen silinder hidrolik, tahapan proses remanufaktur secara umum meliputi proses pembongkaran silinder hidrolik bekas pakai (*core*), pembersihan, pengecekan, perbaikan/penggantian, perakitan kembali, dan pengetesan. Dari hasil proses pengecekan, rasio penggantian bagian *rod* silinder hidrolik cukup tinggi jika dibandingkan dengan bagian lainnya. Hal ini dikarenakan kondisi rod tersebut telah mengalami pengikisan permukaan yang cukup tebal ($>250\mu\text{m}$) atau hingga melebihi ketebalan lapisan *hard chromium*. Bagian utama komponen silinder tampak pada Gambar 1.

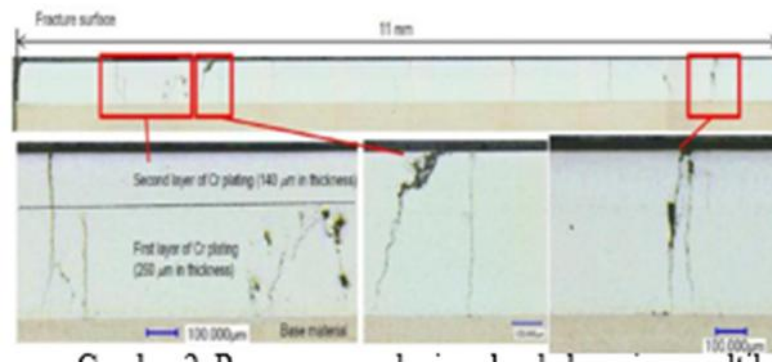
Pelapisan *hard chromium* melalui proses *electroplating* merupakan salah satu proses pelapisan yang biasa diaplikasikan pada rod silinder hidrolik. Pelapisan secara *electroplating* adalah proses pelapisan logam maupun non logam secara elektrolisis melalui penggunaan arus searah (DC) dan larutan kimia (elektrolit) yang berfungsi sebagai penyuplai ion-ion logam untuk membentuk lapisan logam pada katoda [2]. Pelapisan *hard chromium* banyak digunakan pada proses *finishing* permukaan logam karena sifat-sifatnya yang menguntungkan, prosesnya relatif lebih mudah dan biayanya yang relatif lebih ekonomis. Ketebalan pelapisan *hard chromium* umumnya berkisar antara 10-500 μm [3].

Proses perbaikan (*salvaging*) lapisan permukaan *rod* silinder hidrolik dengan pelapisan tebal ($>250\mu\text{m}$) menggunakan lapisan *hard chromium* pada proses remanufaktur saat ini masih memiliki keterbatasan.

8 November 2017

Hal ini disebabkan proses pelapisan *hard chromium* sangat rentan terhadap terjadinya retak sebagai akibat adanya tegangan sisa tarik yang cukup tinggi [4].

Metoda pelapisan tebal untuk permukaan rod silinder hidrolik dengan menggunakan pelapisan *hard chromium multi layer* (2 lapisan) telah diteliti sebelumnya namun hasilnya masih belum memenuhi karakteristik untuk pelapisan rod silinder hidrolik. Pada penelitian tersebut, lapisan pertama memiliki ketebalan lapisan *hard chromium* 260 μm dan lapisan kedua memiliki ketebalan lapisan *hard chromium* 140 μm . Sebelum penambahan lapisan kedua, dilakukan proses *buffing* atau penghalusan permukaan lapisan pertama. Hasil penelitian tersebut menunjukkan terjadinya retak yang merambat hingga logam dasarnya seperti terlihat pada Gambar 2 dan terjadi pula penurunan ketahanan korosi [5].



Gambar 2. Penampang pelapisan hard chromium multilayer [5]

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan karakteristik proses pelapisan hard chromium. Voorwald dkk (2008), melakukan penelitian tentang metode untuk memperbaiki kekuatan lelah pelapisan hard chromium pada baja AISI 4340 dengan menggunakan shot peening. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa terdapat penurunan kekuatan lelah yang signifikan pada baja AISI 4340 yang dilakukan pelapisan hard chromium.

Perlakuan shot peening menggunakan bola keramik atau baja akan meningkatkan kekuatan lelah pada baja AISI 4340 yang dilakukan proses pelapisan *hard chromium* [6]. Khadim dkk (2016), melakukan penelitian serupa tentang perbandingan karakteristik lelah pada baja AISI1039 dengan menggunakan perlakuan permukaan. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk memperoleh batas lelah terhadap pelapisan hard chromium pada baja karbon medium AISI 1039 yang tanpa perlakuan permukaan dan yang menggunakan perlakuan shot peening. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelapisan *hard chromium* menaikkan umur lelah (*fatigue life*) dan batas lelah (*fatigue limit*) jika dibandingkan dengan baja tanpa perlakuan permukaan [7].

8 November 2017

Berdasarkan penjelasan di atas, pelapisan tebal dengan menggunakan pelapisan *hard chromium* masih perlu diteliti lebih lanjut. Pada tulisan ini dipaparkan usulan metoda inovatif yang diharapkan dapat menjawab tantangan ini. Dasar teori berkaitan metoda inovatif ini akan diberikan, kemudian diikuti oleh prosedur operasional yang mendukung metoda tersebut serta contoh desain modifikasi sistem *electroplating* yang diusulkan.

2. USULAN METODE INOVATIF

Berkaitan dengan usaha untuk menghasilkan lapisan yang lebih tebal dengan metoda *hard chromium plating* tanpa disertai penurunan sifat mekanik dan kekuatan ikatnya, maka setidaknya ada dua hal yang harus diperhatikan:

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan sifat mekanik dari lapisan yang dihasilkan dan juga karakteristik adhesifnya.
2. Mekanisme pertumbuhan lapisan dengan metoda ini

Merujuk kepada poin pertama, faktor yang dianggap berkaitan dengan penurunan sifat mekanik dan adhesive dari lapisan *hard chromium*, adalah tegangan sisa pada bagian antar muka dan sekitarnya. Tegangan sisa lazim dihasilkan dari berbagai proses manufaktur, keberadaan tegangan sisa mengakibatkan kegagalan dapat terjadi dibawah beban desain dan juga mengakibatkan kegagalan dini, termasuk produk hasil pelapisan. Dalam kaitannya dengan proses *hard chromium plating*, adalah penting untuk diberikan proses tambahan untuk mengurangi tegangan antar muka antara substrat dan lapisan *plating*. Diantara metoda yang bias diterapkan untuk mengurangi tegangan sisa setelah *plating* adalah dengan pemberian proses *shot peening* pada permukaan substrat sebelum proses *plating*. Setelah *shot peening*, akan dihasilkan tegangan sisa tekan pada permukaan substrat, dan tegangan ini akan meniadakan tegangan sisa tarik yang dihasilkan pada saat proses *plating*. Kemudian merujuk kepada mekanisme pertumbuhan lapisan *plating*, setidaknya ada dua hal yang harus diperhatikan:

1. Tidak adanya mekanisme difusi

Electroplating biasanya dilakukan pada temperature dibawah 100°C dan oleh karena itu proses ini tidak akan menghasilkan cukup energi untuk terjadinya diffuse elemen lapisan *plating* ke dalam substrat dan sebaliknya. Ikatan yang dianggap berperan penting antara substrat dan lapisan hasil *electro plating* adalah ikatan mekanik. Pada ikatan mekanik, kondisi permukaan seperti kekasaran sangat berperan penting terhadap kekuatan ikatan.

8 November 2017

Untuk itu modifikasi terhadap kondisi permukaan substrat sebelum proses *plating* perlu untuk dilakukan. Diantara perlakuan yang bias dilakukan untuk memberikan kekasaran tertentu pada permukaan adalah melalui proses *shot blasting* dan *chemical etching*. Pada proses *blasting*, penentuan jenis dan ukuran partikel *blasting* akan menentukan karakteristik permukaan yang dihasilkan.

Pendekatan lain yang bisa dilakukan adalah dengan memberikan perlakuan termal setelah proses *plating*. Hal ini dilakukan untuk memberikan energi tambahan kepada lapisan, sehingga dimungkinkan untuk terbentuknya difusi dari lapisan ke substrat dan sebaliknya.

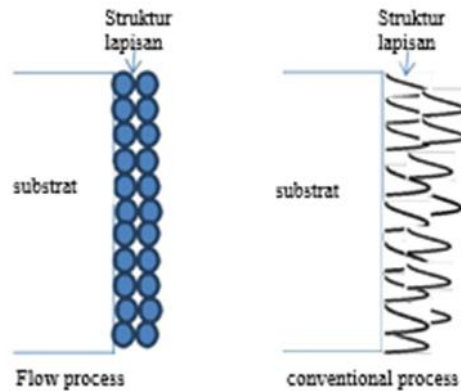
2. Struktur mikro lamellar

Struktur mikro yang umumnya dihasilkan dari proses *electroplating* adalah berbentuk lamellar. Struktur ini dihasilkan melalui pertumbuhan lapisan yang tegak lurus permukaan substrat. Karena struktur ini mempunyai karakteristik anisotropy, diperkirakan hal ini mempengaruhi penurunan sifat mekanik dari lapisan *plating* ketika lapisan bertambah tebal. Untuk itu adalah lebih disukai jika bisa dihasilkan struktur mikro dalam bentuk equiakhsial. Struktur ini diperkirakan bisa dihasilkan jika proses *plating* yang dilakukan dapat mencegah pertumbuhan struktur lapisan dari bentuk equiaxial ke bentuk lamellar. Hal ini diharapkan bias didapatkan jika kita membuat sistem *electroplating* dimana elektrolitnya mengalir melalui permukaan spesimen dengan cepat. Setiap aliran elektrolit yang melalui permukaan spesimen diharapkan akan menghasilkan nukleasi-nukleasi material plating yang berbentuk equiakhsial, dan aliran berikutnya akan menghambat pertumbuhan struktur nukleasi yang telah terbentuk menjadi struktur lamellar. Bila lapisan dengan struktur equiakhsial bisa dihasilkan, diperkirakan akan menghasilkan sifat mekanik dan adhesif yang lebih baik dibandingkan lapisan dengan struktur lamellar. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi prediksi struktur lapisan yang dihasilkan dari proses *electroplating* dengan elektrolit mengalir dan proses konvensional.

Salah satu usaha lain yang biasa dilakukan untuk meningkatkan ketebalan lapisan adalah dengan melakukan proses *plating* berulang. Akan tetapi seringkali ditemukan ikatan lapisan kedua lebih buruk dibandingkan ikatan lapisan pertama dan substrat. Hal ini kemungkinan terjadi karena lapisan pertama berikatan dengan substrate yang umumnya diberikan perlakuan permukaan terlebih dahulu, sedangkan lapisan kedua berikatan dengan lapisan pertama yang permukaannya tidak diberikan perlakuan permukaan seperti permukaan substrat.

8 November 2017

Untuk itu, agar didapatkan karakteristik ikatan yang menyamai lapisan pertama adalah penting untuk dilakukan perlakuan permukaan pada permukaan lapisan pertama sebelum pelapisan kedua dilakukan.



Gambar 3. Ilustrasi prediksi struktur lapisan hasil flow electroplating dan konvensional plating

Berdasarkan penjelasan di atas, ada beberapa proses inovatif yang bisa dilakukan untuk mendapatkan lapisan hard-chromium plating yang lebih tebal dengan tetap menjaga sifat mekanik dan kekuatan ikatnya, diantaranya;

- Proses electroplating dengan elektrolit mengalir
- Perlakuan permukaan dengan metoda shot peening dan/atau blasting process, dan/atau pickling
- Proses electroplating berulang dengan proses perlakuan permukaan antar dua proses plating.
- Perlakuan termal pasca proses electroplating.

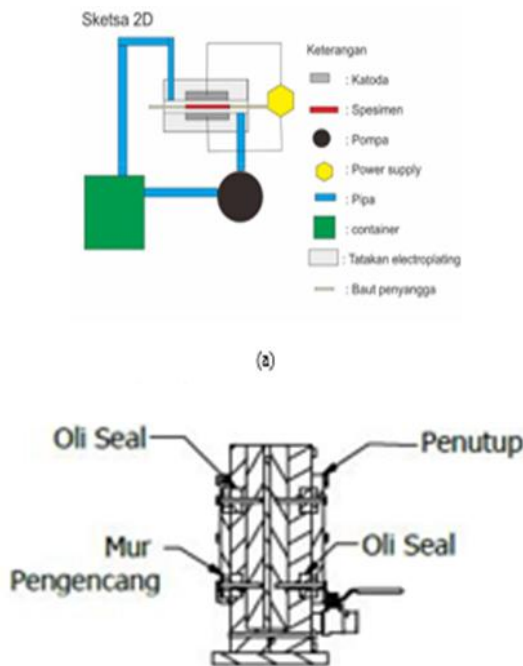
Dalam prakteknya, proses inovasi di atas bisa dilakukan secara kombinasi dengan memperhatikan aspek-aspek yang harus dioptimalisasi, diantaranya:

1. Penentuan jenis dan ukuran partikel untuk shot blasting/peening dan juga besar tekanan. Hal ini akan berpengaruh terhadap karakteristik permukaan.
2. Jenis dan lamanya proses chemical etching akan berpengaruh terhadap karakteristik permukaan.

8 November 2017

3. Desain sistem *plating* dengan elektrolit mengalir

Gambar system mekanisme proses *electro plating* dengan elektrolit mengalir diilustrasikan pada Gambar 4(a), sedangkan detail tatakan/tempat dimana specimen diletakan pada saat proses ditunjukkan pada Gambar 4(b). Perbedaan dengan system konvensional adalah adanya system pemompaan dan perpipaan untuk memberikan mekanisme elektrolit yang mengalir.



Gambar 4.Skema ilustrasi sistem elektrolit mengalir (a); detail tempat penyimpanan specimen/tatakan (b)

3. KESIMPULAN

Pada tulisan ini telah dipaparkan serangkaian metoda alternative untuk proses *hard-chromium plating*, dengan tujuan untuk mendapatkan ketebalan lapisan yang lebih tebal dari proses konvensional dan tetap menjaga sifat mekanik dan juga adhesive antara lapisan dan substrat. Proses yang diusulkan didasarkan kepada hal yang dianggap mengurangi karakteristik lapisan dan juga mekanisme pertumbuhan lapisan pada saat proses *electroplating*. Rangkaian metoda alternatif yang diusulkan meliputi *flow electro plating*, kombinasi perlakuan permukaan dengan *shot peening*, *blasting*, *etching*, *dual plating* dengan perlakuan permukaan antara dan proses perlakuan termal pasca proses *electroplating*.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini didanai oleh PT Komatsu Indonesia melalui program joint research antara ITB-Komatsu.

REFERENSI

[1] Rusyidi, A (2012): Perbaikan MetodeKerja Proses Remanufaktur Engine Tipe Besar untuk Meningkatkan Kinerja Produksi, Skripsi Program Sarjana, Universitas Indonesia.

[2] Raharjo, S (2010): Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Proses Elektroplating terhadap Kekerasan Lapisan pada Baja Karbon Rendah dengan Krom, Tesis Program Magister, Universitas Diponegoro, Semarang.

[3] Yang , Z. (2011): Alternatives to Hard Chromium Plating on Piston Rods, Degree Project of 30 credit points Master of Science in Engineering, Mechanical Engineering, Faculty of Technology and Science. Karlstad Universitet.

[4] Castro, R.M., Cavaler, L.C.C., Marques, F.M., Bristot, V.M., dan Rocha, A.S. (2014): Comparative of Tribological Performance of Hydraulic Cylinders Coated by The Process of Thermal Spray HVOF and Hard Chrome Plating, Tribology in Industry, Vol. 36, 79-89.

[5] Kuroda (2016): Recycling of Hydraulic Cylinder Rod by Thick Plating, The 87th Reman Technology Improvement Activity Report-January Report, Japan.

[6] Voorwald,H.J.C., Silva,M.P., Costa, M.Y.P., Cioffi,M.O.H (2008): Improvement in The Fatigue Strength of Chromium Electroplated AISI 4340 steel by Shot Peening, Fatigue Fracture Engineering Material Structure 32, 97-104.

[7] Kadhim, Z.D., Abdulrazzaq, M.A., dan Sally, M.A. (2016): Comparison of Fatigue Characteristic for AISI 1039 Steel with Surface Treatment, International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), ISSN (e): 2250 - 3005, Volume 06, Issue 08, 27-35.

8 November 2017

High Temperature Corrosion Behaviour Of Ti-6Al-4V In The Presence Of KCl Deposit

Billiawan^{1,A)}, Asep Ridwan Setiawan^{1,B)}, & Rochim Suratman^{1,C)}

¹Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering
Bandung Institute of Technology, Bandung.

^{a)}Bill_J3@yahoo.com ^{b)}asep.ridwans@material.itb.ac.id ^{c)}rochim@material.itb.ac.id

Abstract.

Ti-6Al-4V is a titanium alloy commonly used for various components operating at high temperatures. This study aims to investigate high temperature corrosion behavior of Ti-6Al-4V in presence of KCl deposit under air atmosphere at 600°C, 700°C, and 800°C. KCl deposit were performed by spraying in several steps on the sample surface. With this method, the KCl salt deposit is expected to be homogeneous and weight around 3-4 mg/cm². The sample were exposed at high temperature up to 96 hours in the electric furnace. Mass changes of the specimen before and after oxidation are recorded. The presence of KCl deposit on the surface of specimen accelerated the corrosion rate up to 17 times higher than that of specimen without KCl deposit. The oxidation mechanism is estimated by reaction of $Ti_{(s)} + 2Cl_{2(g)} \leftrightarrow TiCl_{4(g)}$.

Keywords : hot corrosion, deposit KCl, mass, oxide layer

1. PENDAHULUAN

Paduan titanium banyak digunakan dalam bidang industri kimia, medis, dan penerbangan untuk ketahanan korosi yang tinggi, biokompatibilitas, kekuatan spesifik yang tinggi, dan densitas yang rendah. Disamping itu, paduan titanium juga memiliki potensi untuk digunakan dalam lingkungan temperatur tinggi akibat adanya unsur paduan, seperti alumunium yang meningkatkan ketahanan oksidasi pada temperatur tinggi. Efek peningkatan kemampuan oksidasi ini dikarenakan pembentukan alumina Al₂O₃ pada daerah permukaan paduan titanium. Salah satu paduan titanium yang memiliki unsur alumunium adalah material Ti-6Al-4V.

Pengujian korosi temperatur tinggi merupakan cara untuk mempelajari perilaku material Ti-6Al-4V yang akan digunakan dalam lingkungan dengan temperatur yang tinggi. Parameter yang dapat mempengaruhi sifat material secara signifikan pada saat pengoperasian adalah keberadaan gas yang ada di dalam lingkungan.

8 November 2017

Dalam beberapa kasus, material yang digunakan pada temperatur tinggi akan berinteraksi dengan beberapa materi seperti silika, garam laut, dan sulfat yang memberikan efek peningkatan laju korosi pada material. Fenomena korosi pada temperatur tinggi menjadi lebih agresif jika terdapat kristal garam pada permukaan material. Hal ini disebabkan oleh lingkungan garam yang akan menghasilkan unsur klorin dan sulfat pada proses korosi temperatur tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan korosi material Ti-6Al-4V ketika terpapar deposit garam KCl di lingkungan udara pada temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C. Pengaruh temperatur dan keberadaan deposit KCl terhadap laju pertambahan massa dan morfologi lapisan oksida yang terbentuk dibahas secara mendalam.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat Ti-6Al-4V dengan ukuran 1 cm x 2 cm x 0,2 cm yang berjumlah 24 spesimen. Larutan garam yang digunakan dalam penelitian berasal dari KCl padat dan larutan aqua DM. Berikut kandungan material Ti-6Al-4V yang akan diuji:

Tabel 1. Komposisi Material Uji

Ti-6Al-4V commercial	
Aluminium	6%
Vanadium	4%
Titanium	balance

2.2 Metode

2.2.1. Persiapan spesimen

Semua spesimen di grinding dengan kertas SiC pada grid 600, dan dibersihkan dengan menggunakan air. Selanjutnya, larutan garam KCl dibuat dengan mencampurkan KCl padat ke dalam larutan aqua DM yang dipanaskan pada temperatur 60-80°C hingga terbentuk larutan KCl jenuh. Setelah larutan garam KCl telah siap, larutan disemprotkan sebanyak 4x pada setiap sisi dari spesimen agar mendapatkan deposit KCl yang homogen pada permukaan spesimen sebesar 3-4 mg cm⁻². Spesimen yang telah disemprot dipanaskan dalam oven dengan temperatur 100°C selama 10 menit agar diperoleh deposit garam KCl kering.

8 November 2017

2.2.2. Proses oksidasi spesimen

Proses oksidasi dilakukan di dalam tungku listrik pada temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C untuk durasi waktu 24, 48, dan 96 jam dengan cara digantung diatas cawan *crucible* menggunakan kawat baja. Selanjutnya, spesimen didinginkan di dalam tungku. Setelah proses oksidasi selesai ditimbang massa akhirnya. Pertambahan massa yang terjadi pada spesimen setelah proses oksidasi kemudian dicatat.

2.2.3. Karakterisasi spesimen

Produk korosi pada permukaan spesimen dikarakterisasi menggunakan metoda difraksi sinar-X (XRD) untuk mengetahui lapisan oksida yang terbentuk pada spesimen setelah proses oksidasi.

2.2.4. Pengamatan lapisan oksida

Proses pengamatan lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan spesimen diawali dengan proses *hot mounting* spesimen hasil oksidasi, dilanjutkan dengan proses *grinding* dan *polishing*. Setelah semua proses selesai, permukaan spesimen dilihat dibawah mikroskop optik untuk dihitung tebal lapisan oksida hasil oksidasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Proses Oksidasi

3.1.1 Perbandingan Pertambahan Massa Spesimen Uji

Hasil proses oksidasi spesimen berupa data pertambahan massa yang ditunjukkan dalam table berikut:

Tabel 2. Pertambahan Massa Dengan Adanya Deposit KCl

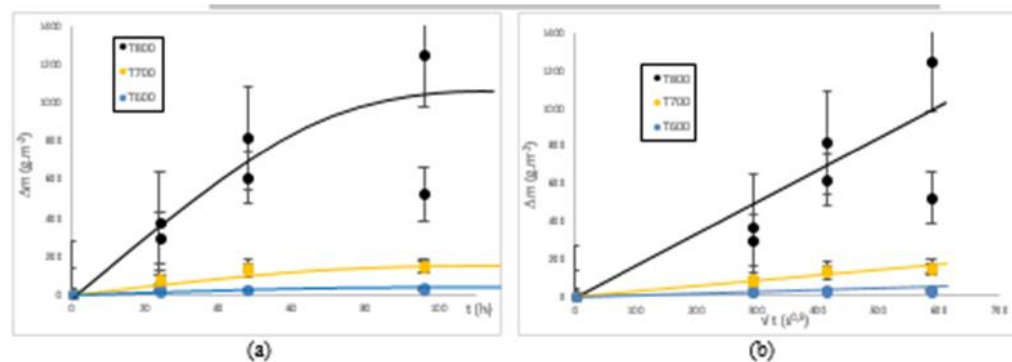
Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Δm_1 (g)	Δm_2 (g)
600	24	0,0096	0,0115
	48	0,0141	0,0155
	96	0,0115	0,0166
700	24	0,0363	0,0456
	48	0,0653	0,0752
	96	0,0749	0,0797
800	24	0,1524	0,1932
	48	0,3179	0,4233
	96	0,2717	0,6502

8 November 2017

Tabel 3. Pertambahan Massa Tanpa Adanya Deposit KCl

Temperatur (°C)	Δm (g)		
	24 jam	48 jam	96 jam
600	0,0024	0,0026	0,0058
700	0,0063	0,0102	0,0180
800	0,0196	0,0289	0,0381

Pertambahan massa hasil proses oksidasi pada material Ti-6Al-4V yang ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** menghasilkan perbedaan yang signifikan. Spesimen hasil oksidasi dengan deposit KCl memiliki pertambahan massa hingga 17x dibandingkan dengan spesimen hasil oksidasi tanpa deposit KCl. Hal ini disebabkan oleh adanya peristiwa reaksi autokatalitik pada spesimen dengan deposit KCl akibat adanya unsur klorin, dimana ion Cl akan mengikat ion Ti seperti pada reaksi berikut [3]:



Gambar 1. Kurva hasil pertambahan massa per luas permukaan spesimen dengan lamanya waktu oksidasi (a) dan akar dari lamanya waktu oksidasi (b) pada temperatur 600°C, 700°C, dan 800°C.

Tren pertambahan massa pada **Gambar 1** membentuk suatu kurva parabolik akibat adanya deposit KCl, dimana pada temperatur 600°C, dan 700°C masih membentuk lapisan oksida yang bersifat protektif. Sementara itu, pada temperatur 800°C, lapisan oksida yang terbentuk sudah tidak lagi bersifat protektif. **Gambar 1b** merupakan kurva yang menghubungkan Δm dengan \sqrt{t} untuk menentukan laju oksidasi. Pada temperatur 800°C, lapisan oksida yang terbentuk sudah tidak lagi bersifat protektif sehingga membuat laju oksidasinya meningkat secara signifikan.

8 November 2017

3.1.2 Perhitungan Kinetika Reaksi

Pertambahan massa yang terjadi dari proses oksidasi secara isothermal berasal dari proses difusi. Pertambahan massa per satuan luas spesimen ($\Delta m/S$) yang teroksidasi secara isothermal pada temperatur tertentu untuk waktu oksidasi (Δt) diwakili oleh persamaan (2):

$$\Delta m/S = k_p \sqrt{\Delta t} \quad (2)$$

dimana S ada luas permukaan oksidasi, k_p adalah laju oksidasi, dan Δt adalah waktu oksidasi ($\Delta t = t - t_0$; jika $t_0 = 0$, maka $\Delta t = t$). Ketika $\Delta m = \rho S \Delta x$, dimana Δx adalah ketebalan dari oksida dan ρ adalah densitas, persamaan (2) menjadi seperti berikut:

$$\Delta x = k_p \sqrt{\Delta t} / \rho \quad (3)$$

Buat $k = k_p / \rho$, maka

$$\Delta x = k \sqrt{\Delta t} \quad (4)$$

Inilah hubungan antara ketebalan oksida dan waktu yang dikenal dengan “*parabolic law*”, sehingga persamaan (4) dikuadratkan menjadi

$$\Delta x^2 = k^2 \Delta t \quad (5)$$

Persamaan (5) menunjukkan nilai k^2 yang berarti suatu dimensi percepatan (m^2/s). Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap nilai k^2 dalam fenomena difusi yang terjadi diwakili oleh persamaan (6):

$$k^2 = A \exp\left(-\frac{Q_a}{RT}\right) \quad (6)$$

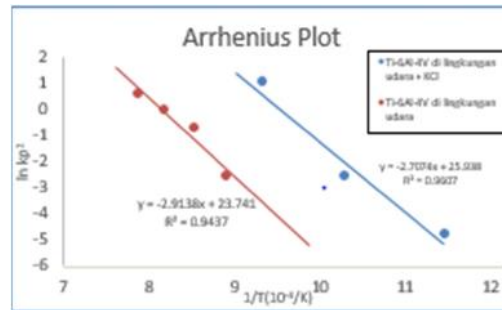
dimana A adalah faktor eksponensial, Q_a adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas, dan T adalah temperatur. Persamaan (6) juga dapat ditulis menjadi

$$k_p^2 = B \exp\left(-\frac{Q_a}{RT}\right) \quad (7)$$

dimana B adalah $\rho^2 A$. Satuan dari k_p^2 adalah $g^2/(m^4 s^2)$. Dari persamaan (7) akan dibuat plot Arrhenius untuk mengetahui energi aktivasi material uji.

8 November 2017

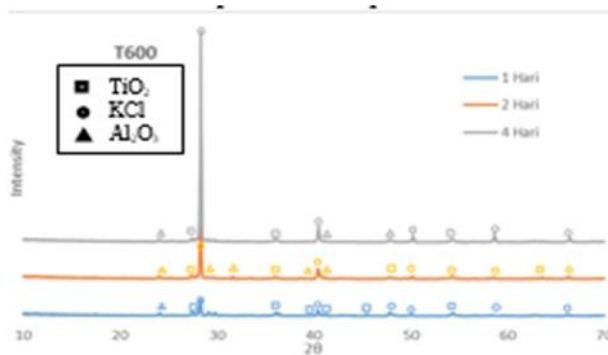
Gambar 2 Plot Arrhenius



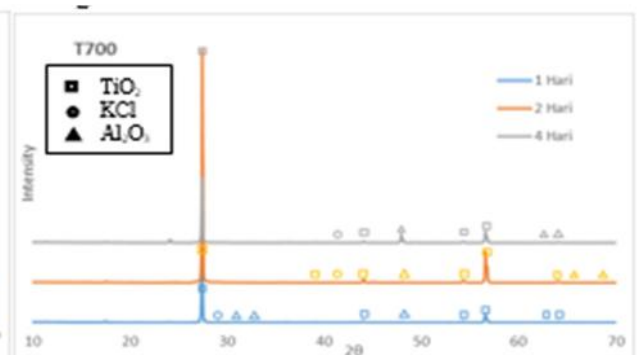
aktivasi material Ti-6Al-4V adalah 253 kJ/mol, sedangkan energi aktivasi material Ti-6Al-4V+KCl adalah 246 kJ/mol. Hal ini menunjukkan jika adanya deposit KCl dipermukaan spesimen menurunkan energi aktivasi selama proses oksidasi dan menyebabkan reaksi korosi berlangsung lebih cepat.

3.2. Hasil Karakterisasi X-rays Diffraction

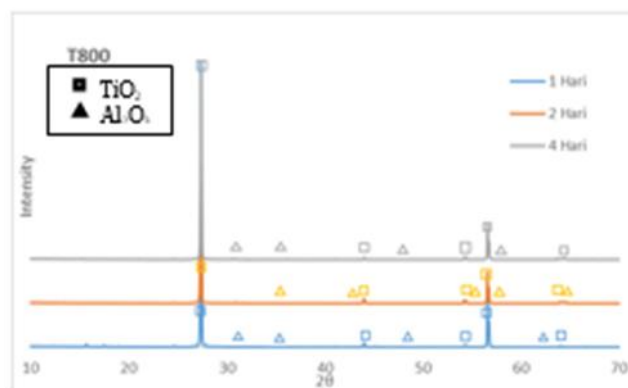
hasil karakterisasi spesimen hasil proses oksidasi dilakukan dengan XRD.



Gambar 3 hasil XRD temperatur 600°C



Gambar 4 hasil XRD temperatur 700°C



Gambar 5 hasil XRD temperatur 800°C

8 November 2017

Hasil karakterisasi XRD pada material Ti-6Al-4V didapati oksida TiO_2 , Al_2O_3 dan senyawa garam KCl. Dilihat dari **Gambar 3**, pada temperatur 600°C , garam KCl yang ada pada permukaan spesimen belum mencapai batas temperatur lelehnya sehingga masih banyak KCl di permukaan spesimen. **Gambar 4** menjelaskan pada temperatur 700°C , KCl yang ada di permukaan jumlahnya semakin sedikit. Untuk temperatur 800°C , KCl telah meleleh dan bereaksi dengan spesimen. Hal ini membuat laju oksidasi semakin cepat sehingga pertumbuhan oksida dipermukaan menjadi lebih cepat. Hasilnya lapisan oksida menjadi lebih tebal ketika diamati dibawah mikroskop optik. Laju reaksi oksidasi yang cepat dikarenakan adanya proses autokatalitik, dimana ion klorin akan berikatan dengan ion logam induk [2].

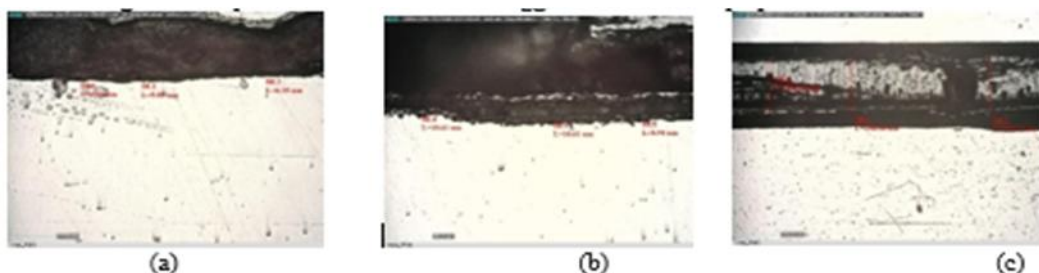
Lapisan oksida TiO_2 terbentuk seiring dengan kenaikan temperatur. Akan tetapi, bersifat tidak protektif pada temperatur 800°C karena adanya ion klorin yang menimbulkan peristiwa *spalling* [3].

Peristiwa *spalling* merupakan peristiwa dimana lapisan oksida yang terbentuk terlepas dari logam induk sehingga membentuk rongga antara logam induk dengan lapisan oksida yang terbentuk [4]. Pada temperatur 600°C , dan 700°C , lapisan oksida TiO_2 masih bersifat protektif. Hal ini dikarenakan ion klorin yang terlibat dalam reaksi oksidasi jumlahnya tidak banyak. Adanya lapisan oksida Al_2O_3 pada spesimen meningkatkan ketahanan oksidasi ditemperatur tinggi.

Pada **Gambar 5** senyawa KCl sudah tidak terbentuk pada temperatur 800°C . Hal ini terjadi akibat KCl yang memiliki titik leleh pada temperatur 770°C telah berubah fasa dari padat menjadi cair dan bereaksi dengan spesimen [5]. Berdasarkan hasil XRD yang diperoleh, oksida yang terbentuk selama proses korosi temperatur tinggi pada material Ti-6Al-4V dengan deposit KCl adalah TiO_2 dan Al_2O_3 .

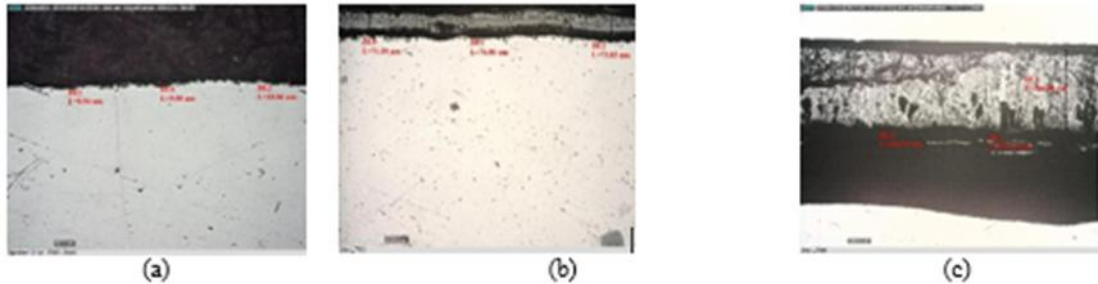
3.3. Hasil Pengamatan Lapisan Oksida

Pengamatan lapisan oksida dilakukan menggunakan mikroskop optik

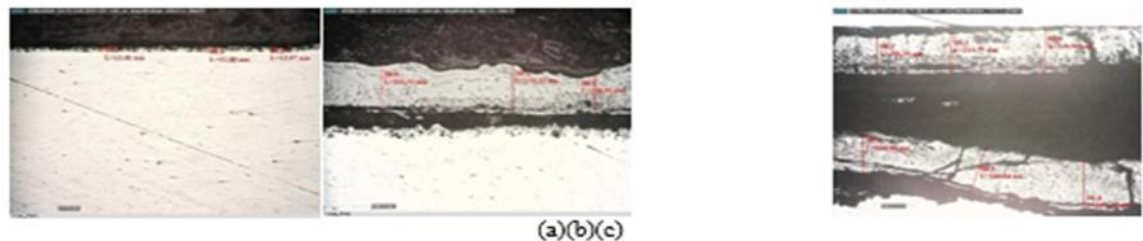


8 November 2017

Gambar 6. Hasil XRD dengan waktu pemanasan 24 jam pada temperatur 600°C (a), 700°C (b), dan 800°C (c)



Gambar 7. Hasil XRD dengan waktu pemanasan 48 jam pada temperatur 600°C (a), 700°C (b), dan 800°C (c)



Gambar 8. Hasil XRD dengan waktu pemanasan 96 jam pada temperatur 600°C (a), 700°C (b), dan 800°C (c)

Pada **Gambar 6**, ketebalan lapisan oksida yang terbentuk meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Pada temperatur 700°C lapisan oksida mulai mengalami *spalling* dengan waktu pemanasan 48 jam seperti terlihat pada **Gambar 7b**. Dilihat dari **Gambar 8c**, lapisan oksida yang terbentuk memiliki banyak porositas. Pada temperatur 800°C dengan waktu pemanasan 96 jam terbentuk 2 layer lapisan oksida dengan ketebalan yang ukuran sama.

KESIMPULAN

1. Lapisan oksida material Ti-6Al-4V+KCl bersifat tidak protektif pada temperatur 800°C.
2. Lapisan oksida yang terbentuk adalah TiO₂ dan Al₂O₃.
3. Fenomena *spalling* pada material Ti-6Al-4V+KCl terjadi ditemperatur 700°C dengan waktu

8 November 2017

pemanasan 48 jam.

4. Energi aktivasi Ti-6Al-4V+KCl adalah 246 kJ/mol.

REFERENSI

1. T.Takahashi, *High Temperature Oxidation and Its Study of Ti-Al and Ti-V Alloys in Air* (Japan, Niihama, 2014)
2. B.Widiyanto, *Presentasi Kuliah Elektrokimia dan Korosi* (Bandung, ITB, 2014)
3. Ciszak, Clément and Popa, Ioana and Brossard, Jean-Michel and Monceau, Daniel and Chevalier, Sébastien *NaCl induced corrosion of Ti-6Al-4V alloy at high temperature.* (France, Bourgogne, 2016)
4. D.Zh.Lyu, W.R.Hong, M.Ch.Yuan, H.J.Xuan, *Spallation Affected Fracture Pattern of a Titanium Alloy Plate Subjected to Linear Shaped Charge Jet Penetration* (Russia, Fizika Gorennya, 2016)
5. [Online].http://www.ddbst.com/en/EED/PCP/MPT_C4577.php. [Diakses pada tanggal 18 Oktober 2017]

8 November 2017

Studi Pelindian Bijih Galena Morowali Dalam Larutan Ferric Methanesulfonate

Muhammad 'Afif^{A,*}, & M. Zaki Mubarok^{B)}

^{a)}PT. Ensbury Kalteng Mining, Desa Pangkut, Kecamatan Arut Utara (Aruta), Kabupaten Kotawaringin Barat, Provinsi Kalimantan Tengah

^{b)}Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

^{a)}mafif.2592@gmail.com ^{b)}zaki@mining.itb.ac.id

Abstract.

Indonesia has deposits of lead in the form of galena ore which are found in some places such as West Java, Lampung, North Sumatra and Central Sulawesi. Commercial extraction processes of lead from galena is currently done only through pyrometallurgical route. These pyrometallurgical processes have a risk for SO_x and lead fume emissions that is hazardous to the environment around the smelting and refining plants. Researches on lead extraction through hydrometallurgical route have been continuously carried out to find a green process that can circumvent SO_x, lead dust and fume emissions with high extraction and kinetics performances. In this study, lead extraction from galena concentrate was performed through leaching by using a new and environmentally friendly reagents, namely methanesulfonic acid. The results showed that the highest lead extraction of 97% was obtained after 1h of leaching at 0.18 molar concentration of ferric methanesulfonate, 5% solids and at temperature of 75°C. The leaching kinetics is controlled by diffusion through the solid layer product with the activation energy of 27,78 kJ/mol.

Keywords : Galena, Lead, Leaching, Ferric Methanesulfonate, Extraction

1. PENDAHULUAN

Timbal merupakan salah satu logam yang penting bagi peradaban manusia. Timbal telah dipakai sejak jaman Kekaisaran Romawi sebagai bagian dari sistem pengairan (aqueduct) hingga pewarna gerabah[1]. Sekitar 80% penggunaan timbal sekarang didominasi oleh sel aki (lead-acid battery) yang digunakan baik di kendaraan maupun pada aplikasi lainnya. Sel aki dari timbal mendominasi teknologi penyimpanan energi karena memiliki harga yang relatif murah per kilowatt hour[2]. Di alam, timbal banyak ditemukan dalam bentuk mineral galena (PbS).

8 November 2017

Selain galena, timbal juga didapatkan di alam dalam bentuk mineral cerrusite (PbCO_3) dan anglesite (PbSO_4)[3].

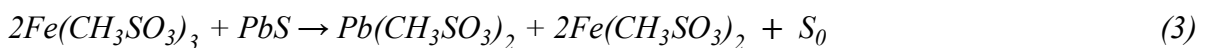
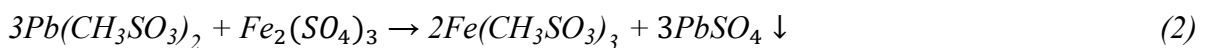
Timbal di alam berbentuk bijih dengan kadardibawah 10% dapat ditingkatkan konsentrasinya dengan proses flotasi sehingga menjadi konsentrat galena. Saat ini, proses pirometalurgi merupakan proses dominan yang digunakan dalam proses ekstraksi timbal secara komersial dari konsentrat galena. Contoh-contoh proses pirometalurgi untuk memproduksi timbal di industri meliputi proses peleburan dan reduksi dengan tanur tiup, air flash smelting), oxygen flash smelting (proses Kivcet, Boliden Kaldor, Outokumpu), air-slag bath smelting (proses Isasmelt), oxygen-slag bath smelting (proses QSL)[3,4]. Proses-proses ekstraksi timbal yang dilakukan pada temperatur tinggi tersebut tidak lepas dari risiko-risiko pencemaran lingkungan yang berkaitan dengan emisi gas SO_x , debu dan uap timbal yang merupakan logam berat. Adanya risiko-risiko yang berkaitan dengan lingkungan tersebut telah mendorong upaya-upaya untuk mendapatkan proses alternatif yang handal, kompetitif dan ramah lingkungan.

Proses ekstraksi Pb dengan jalur hidrometalurgi dianggap dapat memberikan solusi atas permasalahan-permasalahan emisi gas dan debu pada proses ekstraksi Pb dari konsentrat galena atau sumber sekunder. Penelitian ekstraksi Pb dari konsentrat galena dengan jalur hidrometalurgi telah dilakukan dengan berbagai jenis reagen pelindi yang meliputi asam klorida[5,6,7], asam nitrat[8], asam fluosilik (H_2SiF_6)[9,10] dan asam fluorobor (H_3BOF_4)[11]. Proses ekstraksi galena dengan asam fluoroborat dilaporkantelah mencapai tahapan komersil di Amerika Serikat yang dikembangkan oleh Doe Run[11]. Kekurangan dari proses ini adalah asam fluoborat dapat terhidrolisis menjadi asam boric dan asam fluoride yang korosif serta berbahaya. Larutan organik juga banyak diteliti sebagai reagen pelindi timbal, baik dari bijih maupun dari bahan sekunder seperti scrap aki. Asam organik seperti asam malat[12], oksalat[12], sitrat[13,14,15], askorbat[16] danasetat[17,18,19]. Asam-asam organik tersebut mempunyai kelebihan dalam aspek keramahannya terhadap lingkungan dan tidak terlalu korosif. Namun demikian, sebagian besar asam organik memiliki konduktivitas yang kurang baik, sehingga proses rekoveri logam timbal dari larutan hasil pelindian dengan elektrowinning menjadi kurang efektif.

Reagen pelindi yang relatif baru digunakan pada proses ekstraksi timbal adalah larutan methanesulfonic acid (MSA). Penelitian ekstraksi timbal dari konsentrat cerrusite (PbCO_3) dalam *methanesulfonic acid* telah dilakukan oleh Wu[20,21].

8 November 2017

Asam metan sulfonat ini juga memiliki konduktivitas listrik yang relatif tinggi sehingga rekeveri timbal dengan metode elektrowinning dapat dilakukan dengan konsumsi energi yang relatif rendah[20]. Asam metan sulfonat ini tidak memiliki sifat oksidasi yang baik, sehingga diperlukan oksidator sulfur dalam bentuk ion ferric untuk melindi galena. Dalam pembuatan *ferric methanesulfonate*, diperlukan pelarutan PbO dalam methanesulfonic acid terlebih dahulu. Pb methanesulfonic yang terbentuk kemudian direaksikan dengan *ferric sulphate* sehingga didapatkan *ferric methanesulfonate*. Reaksi-reaksi yang berlangsung pada proses pembentukan *ferric methane sulfonate* adalah sebagai berikut:



Pada paper ini dibahas hasil-hasil penelitian ekstraksi timbal dari bijih galena yang berasal dari Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah dengan pelindian dalam larutan *ferric methanesulfonate*. Dilakukan juga percobaan electrowinning untuk merekoveri timbal secara langsung dari larutan hasil pelindian dan dievaluasi morfologi endapan logam timbal yang terbentuk, efisiensi arus dan konsumsi energi listrik yang diperlukan.

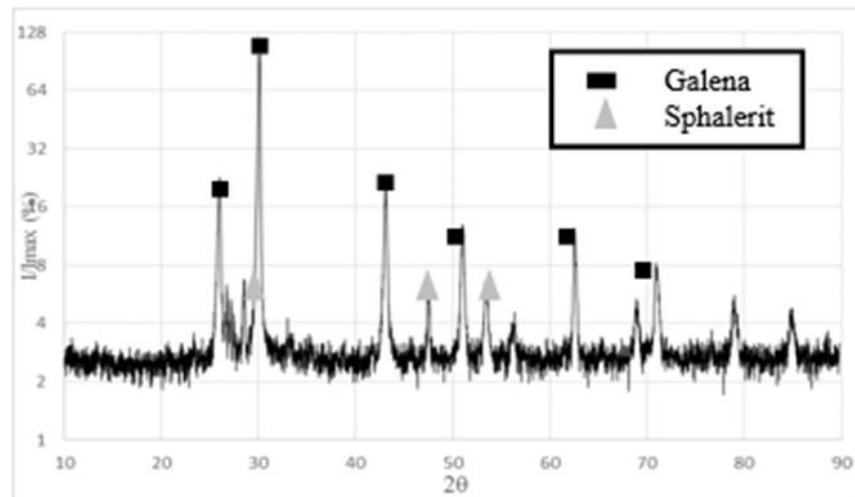
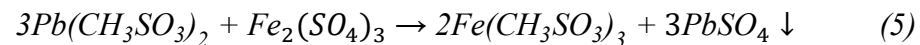
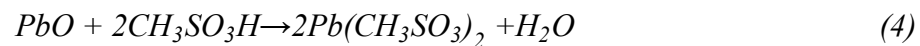
2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bijih yang digunakan dalam penelitian ini adalah bijih galena dari Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah. Preparasi dan karakterisasi bijih dilakukan untuk mendapatkan sampel yang diperlukan untuk pelindian dan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan terkait karakteristik sampel bijih yang digunakan. Preparasi sampel bijih diawali dengan melakukan *hand sorting* untuk memisahkan bongkahan-bongkahan bijih berukuran besar. Batuan bijih kemudian digerus dengan *ball mill* dan diayak untuk mendapatkan fraksi ukuran bijih yang diinginkan yaitu -60 + 150 mesh. Setelah itu, dilakukan homogenisasi dan sampling dengan metode *coning-quatering*.

8 November 2017

Karakterisasi yang dilakukan meliputi identifikasi mineral utama dalam bijih dengan X-Ray Diffraction (XRD), dan analisis komposisi kimia bijih dengan X-Ray Fluorescence (XRF). Dari hasil analisis XRD diketahui bahwa mineral yang dominan pada bijih galena dari Morowali adalah galena, sphalerit, magnetit, pirit, dan kuarsa. Hasil analisis XRD ditunjukkan pada *Gambar 1*. Dari hasil analisis XRF yang disajikan pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa kandungan Pb dalam bijih cukup tinggi, yaitu 43,56% dengan logam-logam ikutan yang utama yaitu Fe 8,96%, Si 6,99%, dan Zn 4,61%. Hasil analisis XRF ini berkesesuaian dengan hasil analisis XRD dimana kadar Fe, Si dan Zn yang tinggi mengindikasikan keberadaan mineral-mineral ikutan dalam bijih berupa pirit, magnetit, kuarsa dan sphalerit. Larutan ferric methanesulfonate (FMS) dibuat sendiri dengan mereaksikan serbuk PbO dengan asam methane sulfonate ($\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$) dimana produk reaksinya selanjutnya direaksikan dengan ferric sulfate sesuai Reaksi 4 dan 5. Serbuk timbal oksida dan ferric sulphate yang digunakan mempunyai kualitas pure analysis (p.a.), sementara larutan methanesulfonic acid dengan konsentrasi 60% diterima dari PT. BASF Indonesia.



GAMBAR 1. Hasil analisis XRD sampel bijih galena Morowali

8 November 2017

TABEL 1. Komposisi kimia sampel bijih galena awal

Elemen	%	Elemen	%
Si	6,99	Mg	0,21
Al	0,85	P	0,03
Fe	8,96	S	4,64
Ti	0,05	Cr	0,02
K	0,02	Cu	0,11
Ca	3,35	Ni	0,00
Na	0,13	Pb	43,56
Mn	0,65	Zn	4,61

2.2 Metode

Percobaan pelindian dilakukan menggunakan labu erlenmeyer yang ditutup oleh *plastic wrap*. Reaktor ditempatkan diatas *hot plate* yang terintegrasi dengan *magnetic stirrer* dengan kecepatan putaran batang magnet dengan panjang 7 cm sebesar 300 rpm. Serangkaian percobaan pelindian agitasi pada tekanan atmosfer dilakukan dengan variasi konsentrasi *ferric methanesulfonate* (FMS), suhu pelindian, dan persen solid untuk mempelajari pengaruh variabel-variabel tersebut terhadap persen ekstraksi timbal. Pengukuran konsentrasi logam terlarut dalam larutan hasil pelindian dilakukan dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS) untuk menentukan persen ekstraksi timbal. Kinetika pelindian dipelajari dengan menggunakan model *shrinking core* untuk menentukan pengendali laju reaksi dan energi aktivasi proses pelindian. Proses pengambilan sampel larutan hasil pelindian dilakukan dengan mengambil sebanyak 1 ml larutan setelah menit ke-1, 5, 15, 30 dan 60. Sampel larutan tersebut diencerkan terlebih dahulu lalu dianalisis menggunakan AAS.

Variasi konsentrasi reagen pelindi dilakukan dengan memvariasikan perbandingan jumlah mol *ferric methanesulfonate* terhadap mol galena dalam sampel bijih berdasarkan Reaksi 3. Variasi konsentrasi FMS yang dilakukan masing masing sebesar 1,25, 1,5, 1,75 dan 2 kali stoikiometri. Kondisi lain yang dibuat tetap adalah waktu pelindian selama 1 jam, temperatur pelindian 75°C dan persen padatan 10%, serta fraksi ukuran partikel -60 +150 mesh.

8 November 2017

Percobaan pelindian dengan variasi temperatur dilakukan dalam larutan FMS yang memberikan persen ekstraksi timbal terbaik, yaitu pada konsentrasi 2 kali stoikiometri. Variasi temperatur yang digunakan adalah 55°C, 65°C, 75°C dan 85°C, dimana kondisi lain yang dibuat tetap adalah waktu pelindian 1 jam, persen padatan 10%, dan fraksi ukuran partikel -60 +150 mesh.

Percobaan pelindian dengan variasi persen padatan dilakukan dalam larutan FMS yang memberikan persen ekstraksi timbal terbaik, yaitu dengan perbandingan 2 kali stoikiometri dan pada temperatur 75°C. Variasi persen padatan yang digunakan adalah 5% dan 10%. Kondisi lebih dari 10% tidak dapat dicapai karena keterbatasan kelarutan *Pb-methanesulfonate* dan pengendapan *lead sulfate* dalam larutan FMS. Kondisi lain yang dibuat tetap adalah waktu pelindian selama 1 jam dan fraksi ukuran partikel -60 +150 mesh.

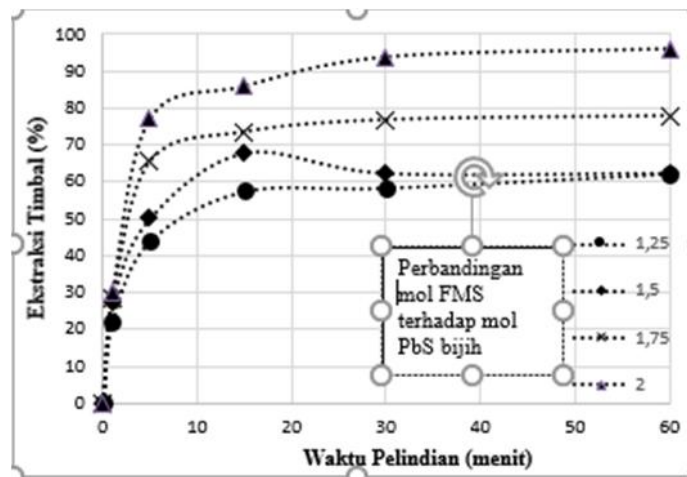
Percobaan electrowinning dilakukan dengan variasi rapat arus (50, 75, 100 dan 173 A/m²). Percobaan electrowinning ini dilakukan untuk mengetahui morfologi deposit Pb, efisiensi arus (%) dan konsumsi energi listrik (kWh/kg-Pb). Filtrat dari percobaan pelindian dikumpulkan hingga mencapai volume sebesar 250ml. Dilakukan sampling awal dalam percobaan ini dengan mengambil larutan sebanyak 1ml, kemudian diencerkan dan dilakukan analisis menggunakan AAS untuk menentukan konsentrasi Pb dalam larutan elektrolit. Katoda dari timbal disiapkan dan dipreparasi serta diberi isolator berupa isolasi vinyl, sementara anoda dipreparasi dari grafit. Katoda dikeringkan terlebih dahulu dan memiliki luas permukaan efektif (yang tercelup dalam elektrolit) sebesar 4 cm x 4 cm. Percobaan dilakukan selama 180 menit pada temperatur kamar. Setiap 30 menit diukur arus dan tegangan yang dengan multimeter, hingga menit ke-180. Setelah percobaan electrowinning selesai, permukaan katoda dibilas dengan akuades, lalu dikeringkan. Katoda bersama deposit timbal kemudian ditimbang untuk dihitung berat deposit timbal yang terbentuk dan dihitung efisiensi arus dan konsumsi energi pada berbagai rapat arus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari serangkaian percobaan yang dilakukan, didapatkan konsentrasi FMS 2 kali stoikiometrik menghasilkan persen ekstraksi timbal yang paling baik yaitu sebesar 96% pada temperatur 75°C dan persen padatan 10%. Profil persen ekstraksi timbal sebagai fungsi waktu pada variasi stoikiometrik FMS terhadap mol PbS pada temperatur 75°C disajikan pada Gambar 1.

8 November 2017

Dengan semakin tingginya konsentrasi *ferric methane sulfonate* kemungkinan kontak antara sulfur pada mineral galena dengan ion ferric dan pembentukan kompleks Pb-sulfonate semakin tinggi. Kondisi pelindian dengan konsentrasi FMS melebihi 2 kali stoikiometrik dengan persen padatan yang sama sulit dicapai karena dibatasi oleh konsentrasi jenuh larutan asam methanesulfonat. Asam methanesulfonat yang dipakai memiliki kemurnian 60 persen, yang berdampak langsung terhadap kelarutan $PbO/PbCO_3$ di dalam larutan. Ferric sulfat diperlukan untuk membuat larutan *ferric methanesulfonate*. Jika terdapat ion sulfat berlebih di dalam larutan *ferric methanesulfonate* maka akan menyebabkan terbentuknya *lead sulphate* yang mempunyai kelarutan rendah sehingga menurunkan persen ekstraksi timbal. Untuk mencegah terbentuknya *lead sulfate*, timbal terlarut dalam larutan *ferric methanesulfonate* awal dijaga pada 1 hingga 7 gram per liter.

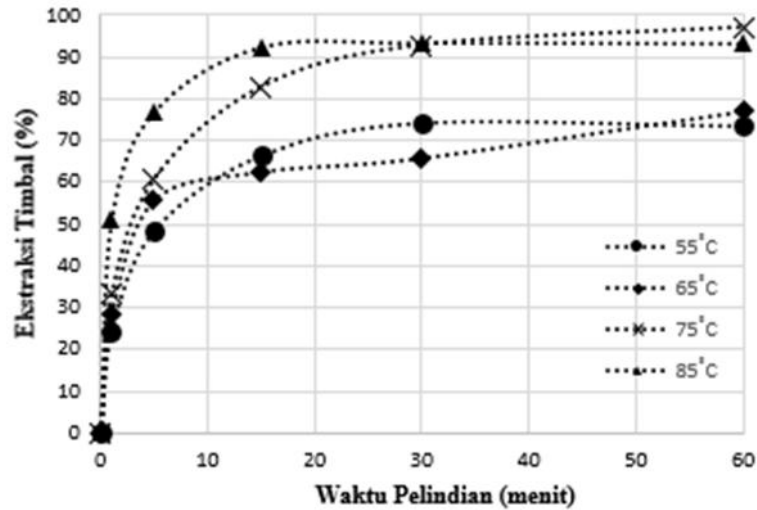


GAMBAR 2. Profil persen ekstraksi timbal sebagai fungsi waktu hasil pelindian bijih galena dengan variasi stoikiometrik FMS terhadap mol PbS pada temperatur 75°C

Dengan konsentrasi *ferric methanesulfonate* 2 kali stoikiometrik yang menghasilkan persen ekstraksi timbal terbaik pada suhu 75°C, dilakukan percobaan kembali dengan memvariasikan temperatur sebagai variabel bebas. Persen ekstraksi tertinggi setelah 15 menit dicapai pada temperatur 85°C, namun persen ekstraksi timbal pada temperatur ini sedikit menurun setelah 15 menit pelindian (Gambar 3). Hal ini diperkirakan terjadi karena tingkat kestabilan larutan FMS telah menurun. Menurut Wu, larutan *ferric methanesulfonate* memiliki batas kestabilan hingga temperatur 85°C. Pada percobaan dengan temperatur 75°C, didapatkan grafik yang terus menunjukkan kenaikan secara konsisten sehingga didapatkan persen ekstraksi timbal 96 %.

8 November 2017

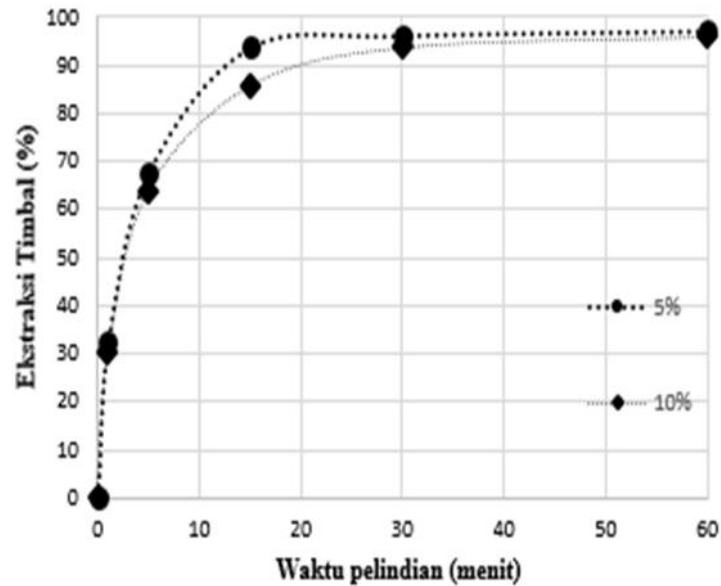
Pada prinsipnya berlangsung lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi namun perlu diantisipasi kestabilan larutan pelindi pada temperatur yang lebih tinggi.



GAMBAR 3. Profil persen ekstraksi timbal sebagai fungsi waktu hasil pelindian bijih galena dengan variasi temperatur pada FMS 2 kali stoikiometri dan waktu pelindian 60 menit

Pada konsentrasi *ferric methanesulfonate* 2 kali stoikiometrik dan temperatur 75°C selanjutnya dilakukan percobaan kembali dengan memvariasikan persen padatan yakni 5 persen dan 10 persen. Profil persen ekstraksi timbal sebagai fungsi waktu hasil pelindian bijih galena dengan variasi persen padatan pada konsentrasi 0,98 M dan temperatur 75°C ditunjukkan pada Gambar 4. Persen ekstraksi timbal paling tinggi diperoleh pada konsentrasi *ferric methanesulfonate* 2 kali stoikiometrik, temperatur 75°C, dan persen padatan 5 persen, namun selisihnya dengan persen ekstraksi timbal pada persen padatan 10% tidak signifikan. Semakin besar persen padatan, maka akan membutuhkan energi untuk pengadukan dan pengaliran fluida yang lebih besar. Namun demikian, bila persen padatan terlalu rendah maka kapasitas pengolahan menjadi lebih rendah dan bila diimplementasikan dalam skala industri maka akan membutuhkan ukuran reaktor yang lebih besar.

8 November 2017



GAMBAR 4. Profil persen ekstraksi timbal sebagai fungsi waktu pelindian bijih galena dengan variasi persen padatan pada konsentrasi perbandingan mol stoikiometrik 2 kali dan temperatur 75°C

Studi kinetika pelindian dilakukan untuk mengetahui pengendali laju proses pelindian sehingga dapat ditentukan variabel-variabel yang dapat mempercepat laju pelindian timbal dari bijih galena. Reaksi pelindian bijih galena merupakan reaksi heterogen karena melibatkan lebih dari satu fasa, yaitu fasa padat (bijih) dan fasa cair (larutan pelindi). Dengan terbentuknya lapisan produk yang tidak bereaksi (kuarsa, sulfur) maka digunakan model inti yang menyusut (shrinking core model). Dengan model ini partikel bijih galena diasumsikan berbentuk bola dengan ukuran yang tetap terhadap waktu namun intinya menyusut karena pelarutan mineral PbS oleh larutan FMS. Laju reaksi pelindian bijih galena secara keseluruhan terkendali oleh tahapan yang lajunya paling lambat atau yang resistansinya paling besar. Menurut Levenspiel[22] reaksi heterogen dikendalikan oleh salah satu dari tiga tahap di bawah ini, yaitu:

Proses terkendali laju difusi melalui film difusi pada permukaan partikel padatan dengan model kinetika

$$\frac{t}{\tau} = X_T \quad (6)$$

Proses terkendali laju difusi melalui lapisan produk (inti) yang tidak bereaksi

$$\frac{t}{\tau} = (1 - 3(1 - X_T)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - X_T)) \quad (7)$$

8 November 2017

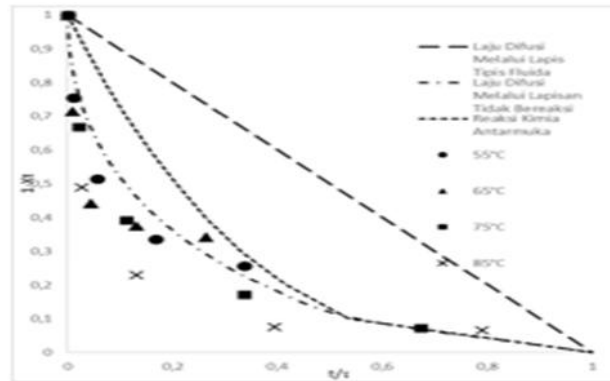
Proses terkendali oleh reaksi pada antarmuka

$$\frac{t}{\tau} = 1 - (1 - X_T)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

dimana t adalah waktu pelindian, τ adalah waktu pelindian dimana PbS dianggap habis bereaksi dan X_T adalah fraksi PbS yang terkonversi pada waktu t . Inti yang menyusut diasumsikan hanya karena proses pelarutan PbS yang terlarut dengan mol awal PbS pada sampel bijih.

Dilakukan konversi persen ekstraksi Pb menjadi fraksi PbS yang terkonversi pada percobaan dengan variasi temperatur. Dari fraksi PbS terkonversi tersebut kemudian dilakukan pengaluran t/τ pada terhadap nilai ruas kanan pada Persamaan (6), (7) dan (8) dan dievaluasi kelinieran masing-masing pengaluran tersebut dari harga kuadrat koefisien korelasinya (R^2). Hasil pengaluran dan regresi linier yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi yang paling mendekati 1 adalah pada model kinetika yang terkendali oleh difusi melalui lapisan produk (Persamaan 7). Selanjutnya untuk menentukan kecocokan model dengan data percobaan, dilakukan pencocokan kurva ketiga model dummy dengan nilai X_T yang divariasikan setiap 0,1 dari 0 hingga 1 dengan data percobaan dari data τ yang diperoleh dari regresi linier sebelumnya yang nilai R^2 -nya mendekati 1. Hasil perbandingan kurva dummy terhadap data percobaan ditunjukkan pada Gambar 5. Sebagaimana hasil regresi linier, didapatkan bahwa model kinetika yang terkendali laju difusi lapisan melalui produk yang tidak bereaksi mempunyai kecocokan paling baik dengan kecenderungan data percobaan, sehingga disimpulkan bahwa laju pelindian timbal dalam larutan FMS terkendali oleh difusi melalui lapisan produk yang tidak bereaksi. lapisan produk yang tidak bereaksi ini adalah sulfur elemental pada permukaan galena yang sedang bereaksi. Energi aktivasi pelindian ditentukan dengan cara mengalurkan $\ln D_e$ (koefisien difusi efektif) terhadap $(1/T)$ yang akan memberikan persamaan garis lurus dengan kemiringan sebesar $(-E_a/R)$, dimana R adalah konstanta gas ideal. Harga energi aktivasi yang diperoleh yaitu 27,77 kJ/mol.

8 November 2017



GAMBAR 5. Perbandingan kurva *dummy3* model pengendali laju dengan hasil percobaan pelindian

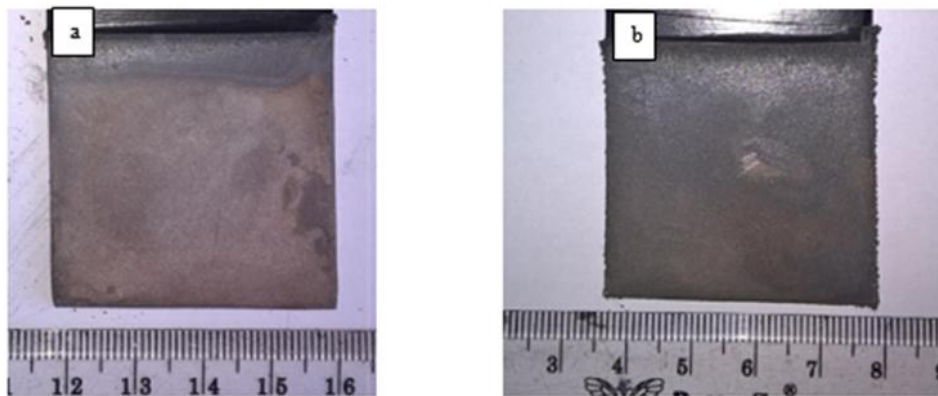
Larutan kaya timbal hasil pelindian yang merupakan gabungan dari percobaan pelindian dengan berbagai variabel kemudian dilakukan elektrowinning. Percobaan electrowinning ini bertujuan untuk mengetahui apakah logam timbal dapat diendapkan secara langsung dari larutan hasil pelindian bijih galena dalam larutan FMS dan berapa harga efisiensi arus serta konsumsi energi listrik yang diperlukan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa deposit logam Pb yang morfologinya dendritik dapat diendapkan pada rapat arus $>75 \text{ A/m}^2$ dimana efisiensi arus paling baik diperoleh pada rapat arus 173 A/m^2 , yaitu 31% (Tabel 2). Foto morfologi deposit makro katoda pada rapat arus 75 A/m^2 dan 100 A/m^2 ditunjukkan masing-masing pada Gambar 6.a dan 6.b. Nilai efisiensi arus yang diperoleh masih relatif rendah karena terdapat unsur-unsur pengotor dalam larutan elektrolit khususnya besi. Oksidasi dan reduksi siklik $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ di permukaan anoda dan katoda akan mengkonsumsi arus dan menurunkan efisiensi arus electrowinning Pb dalam larutan FMS. Harga tegangan sel dan konsumsi energi listrik dalam kwh/kg-Pb juga masih cukup tinggi dibandingkan harga-harga tersebut untuk electrowinning base metals (Cu, Zn, Ni) dan juga hasil penelitian Wu[21] yang melakukan electrowinning Pb dari larutan hasil pelindian cerrucite (PbCO_3) dalam larutan asam methane sulfonate. Hal ini terjadi karena konsentrasi timbal terlarut masih rendah, yaitu sebesar 30 gpl sehingga kemungkinan menyebabkan terjadinya polarisasi konsentrasi selama proses elektrodposisi Pb. Sebagai perbandingan, Wu melakukan elektrowinning dengan konsentrasi Pb 100-150 g/l pada rapat arus 215-250 A/m^2 dan mendapatkan efisiensi arus rata-rata 99%, tegangan sel sekitar 0,5V dan konsumsi energi listrik rata-rata 0,53 kwh/kg-Pb.

8 November 2017

Namun demikian, hasil yang diperoleh telah menunjukkan bahwa Pb terlarut dalam larutan FMS dapat dilakukan proses elektrowinning. Peningkatan konsentrasi Pb dalam larutan dapat dilakukan dengan melakukan pelindian pada persen padatan yang lebih tinggi atau vaporisasi pelarut.

TABEL 2. Data-data tegangan sel, efisiensi arus, konsumsi energi dan morfologi deposit pada percobaan elektrowinning Pb dengan variasi rapat arus

Rapat Arus (A/m^2)	Tegangan sel (V)	Efisiensi Arus (%)	Konsumsi Energi (Kwh/Kg)	Morfologi Deposit
50	1,03	7,60	6,33	Endapan tidak terlihat
75	1,03	17,03	2,83	Muncul sebagian dendrit
100	1,79	18,42	4,54	Dendrit lebih banyak
173	1,98	31,23	2,97	Dendrit mudah rontok



GAMBAR 6 Foto makro deposit Pb di permukaan katoda pada rapat arus $75 A/m^2$ (a) dan $100 A/m^2$ (b)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Persen ekstraksi timbal terbaik yang dapat dicapai pada pelindian bijih galena asal Morowali, Sulawesi Tengah dalam larutan *ferric methanesulfonate* adalah 97% yang diperoleh fraksi ukuran bijih -60 + 150 mesh, konsentrasi *ferric methanesulfonate* 2 kali stoikiometrik, 5% padatan dan temperatur $75^{\circ}C$ setelah 1 jam. Studi kinetika mengindikasikan bahwa pelindian bijih galena dalam larutan *ferric methanesulfonate* dikendalikan oleh laju difusi melalui produk padat yang tidak bereaksi yakni sulfur elemental dengan energi aktivasi sebesar 27,78 kJ/mol.

8 November 2017

Hasil percobaan electrowinning secara langsung Pb dari larutan hasil pelindian telah menghasilkan timbal metalik dengan morfologi dendritik namun pada konsentrasi awal Pb 30 g/L, efisiensi arus electrowinning masih rendah (terbaik 31%) dengan tegangan sel dan konsumsi energi listrik yang juga masih tinggi. Perlu pemurnian larutan hasil pelindian dan peningkatan konsentrasi awal Pb dalam larutan untuk mendapatkan efisiensi arus electrowinning yang lebih tinggi dan konsumsi energi listrik yang lebih rendah.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. BASF Indonesia yang telah memberikan larutan Methane Sulfonic Acid (MSA) yang digunakan pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Thornton, Iain., Raitiu, Raidu Brush, Susan., *Lead the fact*, Ian Allan Printing Ltd, England, 2001.
- [2] Akinyele, D.O., Rayudu, R.K., Review of energy storage technologies for sustainable power networks, *Sustainable Energy Technology and Assessment* 8, Elsevier, (2014), 74-91
- [3] Habashi, F., *Handbook of Extractive Metallurgy, Vol 2*. Wiley-Vch., Germany, 1997
- [4] J. Hoang, M.A. Reuter, R. Matuszewicz, S. Hughes, N. Piret, Top submerged lance direct zinc smelting, *Minerals Eng.* 22 (2009) 742-751.
- [5] Habashi, Fathi, *Hydrometallurgy of Lead, Zinc and Lead Metallurgy*, METSOC, (2005), 143-157
- [6] Wang, S., et all, Electro generative leaching of galena with ferric chloride, *Minerals Engineering* 16, Pergamon, (2003), 869-872
- [7] D. Andrews, A. Raychauduri, C. Frias, Environmentally sound technologies for recycling secondary lead, *Journal of Power Sources* 88, Elsevier, (2000), 124-129
- [8] Aydogan, et. al, Kinetics of galena dissolution in nitric acid solution with hydrogen peroxide, *Hydrometallurgy* 88, Elsevier, (2007), 52-57
- [9] P.R. Taylor, *Fluosilicic Acid Leaching Of Galena, Hydrometallurgy. Volume 1: Leaching and Solution Purification* (2003).
- [10] Rezky Iriansyah Anugrah, M. Zaki Mubarak, and Dessy Amalia. Study on the leaching behavior of galena concentrate in fluosilicic acid solution using hydrogen peroxide as oxidant. *Proceedings of the 1st International Process Metallurgy Conference, IPMC* (2016). doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4974417>
- [11] Informasi dari <http://dnr.mo.gov/env/apcp/docs/doerun-westfork.pdf/>, (diakses 24 Agustus 2017).

8 November 2017

- [12] F. Debela, J.M. Arocena, R.W. Thring, T. Whitcombe, Organic acid-induced release of lead from pyromorphite and its relevance to reclamation of Pb-contaminated soils, *Chemosphere*. 80 (2010) 450-456.
- [13] M.S. Sonmez, R.V. Kumar, Leaching of waste battery paste components. Part 1: Lead citrate synthesis from PbO and PbO₂, *Hydrometallurgy*. 95r (2009) 53-60.
- [14] M.S. Sonmez, R.V. Kumar, Leaching of waste battery paste components. Part 2: Leaching and desulphurisation of PbSO₄ by citric acid and sodium citrate solution, *Hydrometallurgy*. 95 (2009) 82-86.
- [15] V. Ettler, M. Komárková, J. Jehlička, P. Coufal, D. Hradil, V. Machovič, F. Delorme, Leaching of lead metallurgical slag in citric solutions—implications for disposal and weathering in soil environments, *Chemosphere*. 57 (2004) 567-577.
- [16] L.C. Ferracin, A.E. Chácon-Sanhueza, R.A. Davoglio, L.O. Rocha, D.J. Caffeu, A.R. Fontanetti, R.C. Rocha-Filho, S.R. Biaggio, N. Bocchi, Lead recovery from a typical Brazilian sludge of exhausted lead-acid batteries using an electrohydrometallurgical process, *Hydrometallurgy*. 65 (2002) 137-144.
- [17] S. Aydoğan, A. Aras, G. Uçar, M. Erdemoğlu, Dissolution kinetics of galena in acetic acid solutions with hydrogen peroxide, *Hydrometallurgy*. 89 (2007) 189-195.
- [18] M. Volpe, D. Oliveri, G. Ferrara, M. Salvaggio, S. Piazza, S. Italiano, C. Sunseri, Metallic lead recovery from lead-acid battery paste by urea acetate dissolution and cementation on iron, *Hydrometallurgy*. 96 (2009) 123-131.
- [19] M.Z. Mubarak, and Yahya, Studi perilaku pelindian timbal dari bijih galena Nanggung Kabupaten Bogor dalam larutan asam asetat dan oksidator hidrogen peroksida. *Jurnal Metalurgi LIPI* volume 29 (1), (2014)
- [20] Wu, Zheng-Hui, Fundamental Study on *Extracting Lead from Cerrusite Concentrate in Methane Sulfonic Acid Based Solution*, Tesis, Master of Applied Science, Faculty of Graduate Studies, Department of Metals and Materials Engineering. University of British Columbia, Canada. 1992.
- [21] Wu, Zheng-Hui. et all, *The kinetics of leaching galena concentrates with ferric methanesulfonate solution*, *Journal of Hydrometallurgy* 142, Elsevier, (2013), 121 – 130

8 November 2017

Pemanfaatan Limbah Oksida Besi Hasil Pengrajin Pandai Besi untuk Magnet PermanenToto Rusianto^{A)}, & Hary Wibowo^{b)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains & Teknologi AKPRIND
Yogyakarta.

a) email: toto@akprind.ac.id b) email: hary@akprind.ac.id

Abstract.

Iron oxide-based ceramic magnets are generally obtained from residual of oxide scales of hot rolled steel. The iron oxide is also produced as byproduct from the traditional forging process of agricultural equipments that is called blacksmith, which is mostly found in Java. The iron oxide is a waste of wrought products that useless, so it can contaminate the soil. One of the centers of blacksmiths are in Pandean Gilangharjo village Pandak Sub-district Bantul District Special Region of Yogyakarta. This study reported the waste of iron oxide from the area that was used for permanent magnet materials. The processing of permanent magnet materials included separation of dirt, reduction of size the iron oxide powder, mixing, calcination, compaction, sintering and magnetization. The results of X-Ray Diffraction of waste of iron oxide contain magnetite and maghemite crystals. The magnetic characterization of the powder specimens by using Vibration Sample Magnetization/VSM showed ferimagnetic materials. After the calcination process, the powder mixture reacted to produce barium hexaferrite crystals with ferromagnetic performance. The magnetic properties of specimens was compared to MMPA (Magnetic Materials Producers Association) standard magnetic according to ceramic magnet type 3. The results show the waste of iron oxide have feasibility to be a permanent magnet material.

Keywords: blacksmith, permanent magnet, iron oxide

1. PENDAHULUAN**1.1 Latar belakang dan permasalahan**

Kebutuhan magnet mengalami kenaikan terutama untuk industri elektronik dalam negeri maupun dunia. Kebutuhan pasar magnet dunia antara lain magnet permanen jenis Ferit, NdFeB, SmCo, dan Alnico adalah sekitar 600.000 ton pada tahun 2010 dan mengalami peningkatan mencapai 8,6% diperkirakan hingga tahun 2020 mencapai 1.200.000 ton (Benecki, 2013).

8 November 2017

China merupakan negara produsen sekaligus konsumen magnet permanen duniaterbesar, sedang didaerah regional Asia Pasifik, peringkat negara-negara yang menduduki konsumen magnet permanen setelah China adalah India, Jepang, Korea Selatan dan Indonesia.

Oksida besi adalah merupakan bahan baku magnet permanen jenis ferit, yang mana oksida besi dapat diperoleh dari kerak oksida besi hasil samping rol baja panas atau sumber oksida besi lainnya yaitu pasir besi. Salah satu pemanfaatan pasir besi Pantai Selatan Kabupaten Bantul adanya fase Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 . Kandungan magnetit dan maghemit dalam pasir besi memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan magnet (Rusianto dkk, 2012). Selain itu produk oksida besi juga dihasilkan dari produk tempa hasil pembakaran dari besi. Produk tempa seperti halnya alat-alat pertanian, antara lain cangkul, parang, sabit, arit dan lainnya banyak dihasilkan oleh pengrajin tradisional alat pertanian atau yang dikenal dengan pengrajin pandai besi. Produk tempa alat pertanian tersebut juga menghasilkan bahan samping yaitu oksida besi atau dikenal dengan kerak besi. Bahan samping oksida besi tersebut tidak dapat dimanfaatkan sehingga menjadi bahan limbah. Gambar 1 memperlihatkan pengrajin tradisional dalam menghasilkan alat-alat pertanian dan juga produk limbah oksida besi. Salah satu sentra pengrajin tukang pandai besi adalah di Dusun Pandean Kelurahan Gilangharjo Kecamatan Pandak. Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 1. Pengrajin pandai besi tradisional memproduksi alat-alat pertanian dan menghasilkan limbah berupa serbuk oksida besi Dusun Pandean Kelurahan Gilangharjo Kecamatan Pandak.

Kabupaten Bantul D.I. Yogyakarta

8 November 2017

Salah satu dampak yang diakibatkan oleh limbah oksida besi adalah peningkatan kadar besi dalam air tanah. Tanah yang mengandung limbah besi dan oksida besi apabila terkena air hujan, besi dan oksida besi tersebut dapat terlarut yang akhirnya dapat mencemari air sumur. Dari hasil penelitian, daerah-daerah dimana kandungan tanah yang mengandung mineral oksida besi yang tinggi cenderung memiliki kadar besi di atas ambang batas yang disyaratkan WHO. Menurut WHO kadar besi yang disyaratkan aman dalam air minum adalah 0,3 mg/l. Seseorang yang mengkonsumsi air dengan kadar besi di atas ambang batas dapat menyebabkan penyakit hati yang disebut sebagai hemosiderosis (Behera, 2012). Oleh karena itu perlu adanya penanganan limbah oksida besi secara berkelanjutan. Penelitian ini menjadi solusi untuk penanganan limbah tersebut yaitu dengan pemanfaatan limbah oksida besi sebagai bahan baku magnet permanen. Rusianto dkk, (2012) telah melakukan penelitian oksida besi berasal dari pasir besi. Pasir halus tersebut dikalsinasi dengan barium karbonat, hasil kalsinasi dikompaksi membentuk green compact yang selanjutnya disinter.

Inovasi dari penelitian pemanfaatan limbah oksida besi sebagai bahan magnet permanen ini menjadi dua tahap penelitian. Pertama, kelayakan limbah oksida besi untuk bahan magnet permanen sesuai standar internasional dan pembuatan prototipe generator listrik dari magnet permanen tersebut. Tujuan yang ingin diperoleh adalah mengetahui karakterisasi bahan magnet dari bahan limbah oksida besi produk samping dari pengrajin padai besi, mengetahui kelayakan bahan magnet dari bahan limbah oksida besi yang sesuai dengan standar internasional, pembuatan magnet batang dan pembuatan protipe generator listrik satu fase dengan delapan kutub.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Oksida besi dari sisa pembuatan alat-alat pertanian oleh tukang pandai besi di daerah Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. Barium karbonat (BaCO_3) ACS reagent, $\geq 99\%$ Sigma-Aldrich, Polivinil alkohol (PVA).

2.2 Proses Kalsinasi

Oksida besi hasil perolehan dari pengrajin pandai besi, selanjutnya oksida besi dipisahkan dari pengotor (tanah/pasir) dengan menggunakan magnet permanen. Oksida besi akan menempel pada magnet, sedang pengotor tidak menempel dan akan jatuh.

8 November 2017

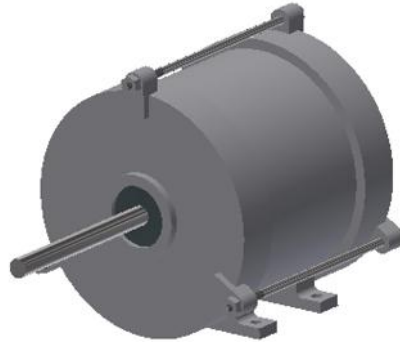
Oksida besi tersebut dihaluskan menggunakan alat penghancur (*mill*) agar ukuran semakin halus agar lebih efektif saat bereaksi dengan bahan tambahan. Oksida besi dicampur dengan barium karbonat (berwarna putih) dengan perbandingan stoikiometri dan dipanaskan pada suhu 1100 °C selama 2 jam dalam dapur pemanas. Proses tersebut dinamakan kalsinasi.

2.3 Pembentuk padatan

Hasil kalsinasi berupa bahan serbuk yang berwarna hitam. Hasil kalsinasi dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan VSM, untuk mengetahui kristal dari suatu senyawa dan karakterisasi kemagnetannya. Serbuk hasil kalsinasi dicampur dengan bahan pengikat PVA 1 % berat. Campuran selanjutnya dicetak menggunakan mesin pres dengan bentuk tertentu untuk dijadikan *green compact*. *Green compact* dibentuk dengan tekanan hidrolis 40 MPa secara uniaksial dengan cetakan dengan hasil cetakan berbentuk batang. Bentuk batang *green compact* yang dibuat berukuran panjang 50 mm, lebar 10 mm, dan ditekan hingga ketebalan spesimen \approx 10 mm. *Green compact* tersebut disinter agar mengalami densifikasi sehingga menjadi lebih padat. Proses sinter dilakukan pada suhu 1100 °C selama 1 jam di dalam furnace dengan lingkungan udara. Hasil produk sinter dikarakterisasi dengan uji kemagnetan menggunakan VSM, untuk diketahui karakteristik kemagnetannya. Batang magnet tersebut yang selanjutnya digunakan untuk pembuatan generator.

2.4 Rancangan Generator

Bentuk model generator yang dibuat berukuran diameter 80 mm dengan panjang 100 mm, terdiri dari delapan kutub magnet permanen dengan ukuran tebal 10 mm, lebar 10 mm dan panjang 50 mm. kumparan terbuat dari lilitan kawat email tembaga dengan diameter kawat 0,3 mm dengan jumlah lilitan 200 lilitan. Inti magnetik kumparan terbuat dari limbah oksida besi dari tukang pandai besi yang sudah dihaluskan. Inti magnetik dicetak dengan cetakan berukuran 10 mm \times 10 mm \times 50 mm. bahan cetakan berupa campuran oksida besi halus dengan resin termoset dengan perbandingan 10:1. Pembentukan rumah generator/*case* menggunakan teknik cetak plastik tiga dimensi (*3D printing plastic*) . Bentuk generator yang direncanakan seperti terlihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2.Rancangan generator AC magnet permanen dengan delapan kutub

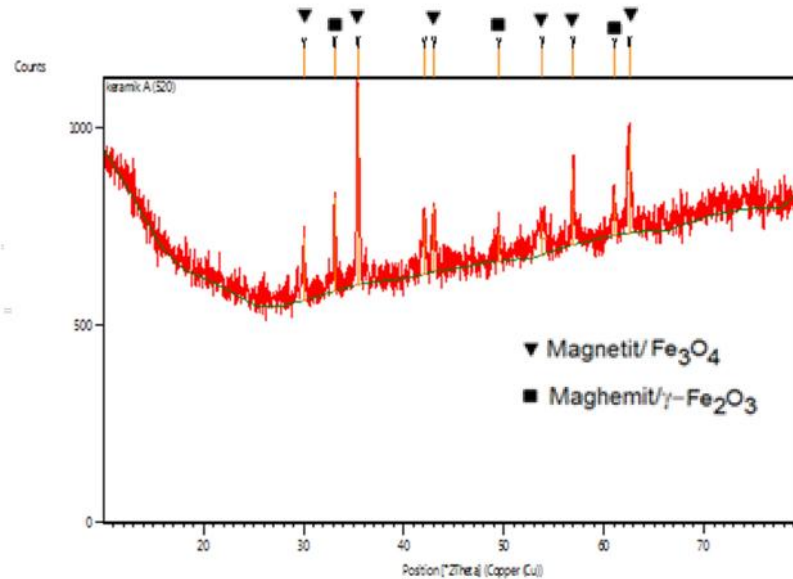
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik oksida besi limbah dari tukang pandai besi.

Oksida besi merupakan bahan mineral magnetik yang dapat tertarik oleh magnet permanen. Oksida besi yang menempel pada magnet permanen banyak mengandung unsur Fe yang bersifat feromagnetik. Oksida besi tersebut berupa senyawa magnetit dan maghemit, dengan kadar Fe mencapai 55 %, sedangkan Fe dalam magnetit kadar Fe dapat mencapai 70 %. Kadungan Fe yang tinggi menyebabkan material tersebut menempel ke magnet permanen.

Susunan kristal yang merupakan ciri khas dari sebuah fase dari senyawa dapat diketahui dengan dilakukan pengujian menggunakan XRD. Hasil pengujian XRD terhadap material hasil limbah pandai besi dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 menunjukkan pola difraksi dari oksida besi. Pola difraksi menunjukkan adanya fase magnetit dengan puncak difraksi pada sudut $2\theta^\circ$ masing-masing $35,4^\circ$, $30,04^\circ$, $56,94^\circ$ dan $62,51^\circ$ dengan $d = 2,53585\text{\AA}$, $2,97501\text{\AA}$, $1,61730\text{\AA}$, dan $1,48581\text{\AA}$ merupakan jarak spasi kisi kristal dari magnetit/ Fe_3O_4 . Pola difraksi tersebut juga memunculkan fase maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan sudut $2\theta^\circ$ dan d -spacing, masing-masing $33,10^\circ$ ($d=2,70577$), $49,4848^\circ$ ($d=1,84197$) dan $61,0751^\circ$ ($d=1,51729$).

8 November 2017



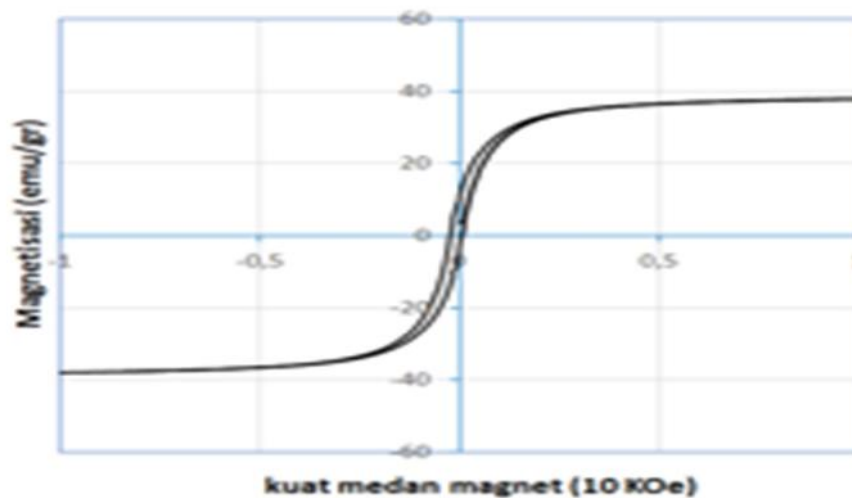
GAMBAR 3. Difraksi sinar-X dari oksida besi limbah dari tukang pandai besi menunjukkan adanya fase magnetit/ Fe_3O_4 dan maghemit/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

Berdasarkan puncak-puncak pengukuran pada sudut $2\theta^\circ$ dari hasil pengujian XRD dan berdasarkan penelusuran referensi dari standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), terdapat kesesuaian dengan JCPDS nomor 00-019-0629 untuk magnetit dan JCPDS nomor 00-016-0653 untuk fase maghemite/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Gambar 4 menampilkan kurva histeresis dari serbuk limbah pengrajin pandai besi. Beberapa karakteristik kemagnetan yang dapat diperoleh dari kurva histeresis tersebut antara lain momen magnetik maksimum (M_s) = 38 emu/gram pada kuat medan 10 kOe, momen magnetik remanent (M_r) = 11 emu/gram, dan koersivitas (H_c) = 226 Oe. Salah satu sifat yang menunjukkan bahan sebagai feromagnetik adalah tingginya nilai M_s dan nilai H_c yang kecil. Sifat tersebut jika dibandingkan dengan magnet permanen jenis magnet ferit standar MIPA *ceramic 1* nilai H_c = 1860 Oe. Oksida besi tersebut memiliki sifat permanensitas yang kecil atau dengan kata lain memiliki sifat magnet permanen yang lemah, akan tetapi bahan tersebut memiliki potensi untuk dijadikan bahan magnet permanen dikarenakan nilai M_s yang besar.

8 November 2017

TABEL 1. Hasil indentifikasi fase yang terkandung dalam oksida besi diuji XRD dicocokkan dengan referensi JCPDS

HASIL UJI XRD					REFERENSI JCPDS				
Pos. [2 θ]	Height [cts]	FWHM Left [2 θ]	d-spacing	Rel. Int. [%]	Pos. [2 θ]	d-spacing	Rel. Int. [%]	h k l	senyawa
30,0378	158,89	0,2047	2,97501	31,56	30,0945	2,96700	30	2 2 0	Magnetit
33,1085	236,38	0,1535	2,70577	46,96	32,8023	2,728000	100	4 2 0	maghemit
35,3978	503,37	0,1535	2,53585	100	35,4222	2,53200	100	3 1 1	magnetit
43,0555	164,08	0,2558	2,10092	32,6	43,0159	2,099300	20	4 0 0	Magnetit
49,4848	72,63	0,307	1,84197	14,43	49,4973	1,840000	63	0 2 4	Maghemit
53,8305	83,88	0,8187	1,70308	16,66	53,3908	1,714600	10	4 2 2	Magnetit
56,9377	195,7	0,2047	1,6173	38,88	56,9425	1,615800	30	5 1 1	Magnetit
61,0751	104,95	0,307	1,51729	20,85	60,8969	1,520000	35	2 6 2	maghemit
62,5126	254,46	0,307	1,48581	50,55	62,5145	1,484500	40	4 4 0	Magnetit



GAMBAR 4. Kurva histeresis kemagnetan dari hasil pengujian VSM Oksida besi limbah tukang pandai besi

3. Karakteristik hasil kalsinasi

Campuran oksida besi dan barium karbonat dianalisis menggunakan *termogravimetry analysis*/TGA untuk mengamati pembentukan barium heksaferit dari hasil kalsinasi. Selama proses kalsinasi terjadi perubahan berat spesimen uji akibat adanya reaksi kimia, bahwa barium karbonat mengalami dekomposisi. Proses terjadinya dekomposisi ditandai dengan perubahan berat selama kalsinasi.

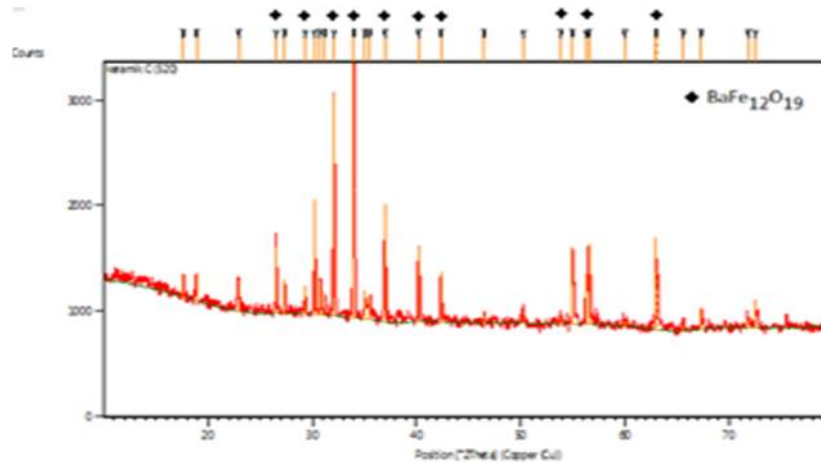
8 November 2017

Hasil uji TGA menunjukkan terjadi penurunan berat dari campuran barium karbonat dan oksida besi yang dipanaskan dari suhu ruang hingga suhu 1100 °C. Perubahan tersebut terjadi pada suhu antara 600 °C dan 950 °C. Berat awal sampel sebesar 17,92 g pada suhu ruang dan berat akhir sebesar 17,13 g setelah pemanasan suhu 1100 °C, dengan berat hilang sebesar 4,41% (Rusianto, dkk. 2015). Persentase penurunan tersebut lebih besar dari hasil perhitungan stoikiometri pada reaksi Persamaan (4) yaitu sebesar 3,65%. Perbedaan tersebut dapat dimungkinkan oleh adanya kandungan air dalam benda uji yang menyebabkan berat hilang lebih besar dari perhitungan stoikiometri.

Hasil kalsinasi telah diuji dengan XRD, hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Pola difraksi menunjukkan berupa fase barium heksaferit, senyawa tersebut menunjukkan fase yang dicocokkan dengan standar JCPDS. Berdasarkan penelusuran tersebut terdapat kesesuaian dengan JCPDS nomor 00-027-1029 untuk barium heksaferit, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Pola XRD dari hasil sinter menunjukkan dengan jelas bahwa intensitas puncak terjadi pada sudut 2θ adalah barium heksaferit.

Fase-fase yang terbentuk ditunjukkan dengan intensitas puncak-puncak sudut 2θ dari pola XRD barium heksaferit. Pola XRD pada Gambar 5 sesuai dengan yang dilaporkan oleh Nowosielski (2007), Stefan, dkk. (2011), dan Rusianto, (2015). Namun, Nowosielski melaporkan penyelidikan melalui difraksi sinar-X dari hasil kalsinasi campuran Fe_2O_3 dan BaCO_3 serta menemukan bahwa fase Fe_2O_3 terdapat dalam fase $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, yang merupakan sisa dari hasil kalsinasi, karena jumlah Fe_2O_3 yang berlebih. Barium heksaferit menunjukkan pola yang khas sesuai dengan standar JCPDS nomor 00-27-1029. Seperti yang dilaporkan oleh Rashad dan Ibrahim (2011), pola XRD dari serbuk barium heksaferit yang dianil pada suhu 800 °C hingga 1200 °C selama dua jam menunjukkan campuran barium heksaferit sebagai fase utama.

8 November 2017



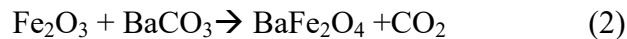
GAMBAR 5 Pola XRD barium heksaferit setelah proses kalsinasi (pemanasan pada suhu 1100°C

Pembentukan barium heksaferit sebagai pengaruh suhu dengan tahapan reaksi sebagai berikut, Persamaan (1 hingga 4), (Stefan, dkk. 2011).

1. Pemanasan dengan suhu antara 320°C hingga 670 °C, BaCO₃ mengalami dekomposisi, reaksi kimia pada Persamaan (1)



2. Pemanasan antara suhu 800 °C hingga 900 °C, pembentukan barium monoferrite, reaksi kimia pada Persamaan (2)



3. Pemanasan antara suhu 900 °C hingga 1100°C, terjadi pembentukan barium hexaferrite (BaFe₁₂O₁₉), reaksi yang terjadi pada Persamaan (3)



4. Jumlah reaksi keseluruhan pada Persamaan (4) (Rusianto, dkk. 2015)

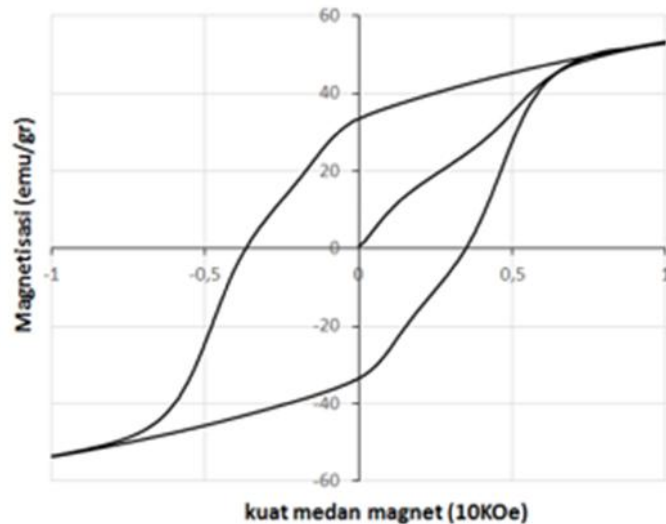


8 November 2017

TABEL 2. Hasil indentifikasi senyawa hasil kalsinasi yang diuji xrd dicocokkan dengan referensi JCPDS

Hasil Uji XRD					Referensi			
<i>Pos. [-2θ]</i>	<i>Height [cts]</i>	<i>FWHM Left [-2θ]</i>	<i>d-spacing [Å]</i>	<i>Rel. Int. [%]</i>	<i>Pos. [-2θ]</i>	<i>d-spacing [Å]</i>	<i>h k l</i>	Senyawa
30,2229	1091,51	0,1023	2,95721	44,06	30,2721	2,95	1 1 0	barium heksaferit
32,1075	2106,02	0,1279	2,7878	85,02	32,1719	2,78	1 0 7	barium heksaferit
34,0202	2477,15	0,1535	2,63532	100	34,0612	2,63	1 1 4	barium heksaferit
36,9879	1120,81	0,1535	2,43041	45,25	37,1200	2,42	2 0 3	barium heksaferit
40,2263	718,22	0,1279	2,24191	28,99	40,3014	2,343	2 0 5	barium heksaferit
42,3393	474,22	0,0768	2,13479	19,14	42,4011	2,236	2 0 6	barium heksaferit
54,9746	719,63	0,0768	1,67032	29,05	55,0422	1,813	2 1 7	barium heksaferit
56,5185	766,38	0,0624	1,62695	30,94	56,5909	1,701	2 0 11	barium heksaferit
62,9823	867,19	0,0936	1,47463	35,01	63,0584	1,657	2 2 0	barium heksaferit

Pengujian kemagnetan serbuk barium heksaferit pada Gambar 6 menunjukkan hasil uji VSM terhadap serbuk barium heksaferit dari hasil kalsinasi. Karakteristik kemagnetan magnetisasi pada $H = 10$ kOe ($M_{10\text{kOe}}$), M_r , dan H_c dapat dilihat pada Tabel 3 dibandingkan dengan standar internasional MMPA.



GAMBAR 6. Kurva histeresis barium heksaferit hasil kalsinasi suhu sinter 1100°C selama 1 jam.

8 November 2017

TABEL 3.Karakteristik kemagnetan spesimen hasil uji VSM dibandingkan dengan standar MMPA

kemagnetan	Spesimen Hasil uji VSM	Ceramic 3 (MO.6Fe ₂ O ₃)
Ms (emu/g)	53,32	-
Mr (emu/g)	33,49	38,00
Hc (Oe)	3.659	2.400
BH max	1.88	3,40

Kurva histeresis barium heksaferit pada Gambar 6 memiliki kurva yang lebih lebar dibandingkan kurva histeresis Oksida besi limbah pada Gambar 4. Kurva yang lebih lebar menunjukkan koersivitas yang besar, koersivitas merupakan bidang koersif kekuatan bahan feromagnetik. Kekuatan koersif adalah intensitas medan magnet diperlukan untuk mengurangi magnetisasi ke nilai nol pada suatu material, setelah magnetisasi mencapai saturasi (Mazaleyrat, 2011). Dengan demikian, ketahanan coercivity merupakan ukuran suatu bahan feromagnetik untuk menjadi *demagnetized* atau medan magnet yang diterapkan pada magnet permanen menjadi hilangnya kemagnetan permanennya. Peningkatan dari *coercivity* dari magnet ferit dimaksudkan sebagai ukuran untuk menjadikan medan magnet permanen pada sebuah material. Bahan magnet permanen dari bahan keramik barium heksaferit telah banyak diketahui dan telah banyak digunakan di lingkungan industri maupun untuk peralatan rumah tangga (Johan, 2010).

3.2. Aplikasi Magnet Permanen untuk generator

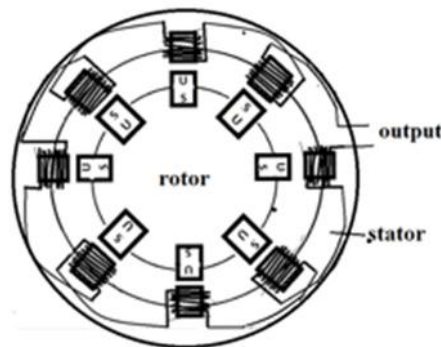
Generator adalah merupakan perangkat elektromagnetik, yang berfungsi merubah gerak mekanik menjadi energi listrik. Generator maupun motor listrik dikembangkan berdasarkan Hukum Ampere-Biot-Savart, Hukum Faraday dan Hukum Lezt. Ketiga hukum tersebut menjadi hukum dasar listrik yang menjelaskan mengenai fenomena induksi elektromagnetik. Fenomena elektromagnetik tersebut merupakan hubungan antara perubahan flux magnetik dengan tegangan induksi yang ditimbulkan. Tegangan induksi akan timbul pada penghantar (kumparan kawat) yang bergerak dan memotong medan magnetik.

Generator terdiri dari dua jenis yaitu generator DC (arus tetap) dan AC (arus bolak-balik) tergantung dari konstruksi dan rangkaian kumparan.

8 November 2017

Sebagian besar daya listrik yang digunakan dalam industri dan kendaraan bermotor umumnya menggunakan generator AC. Generator AC umumnya disebut alternator, dengan konstruksi yang bervariasi dan ukuran yang tergantung pada beban listrik yang dipasoknya. Generator arus bolak-balik terdiri dari dua bagian utama. Stator, merupakan bagian diam dari generator yang mengeluarkan tegangan bolak balik dari kumparan. Rotor sebagai tempat pembangkit fluks magnet kutub utara-selatan yang dihasilkan dari kumparan yang dialiri arus listrik DC atau dari magnet permanen.

Generator AC dengan susunan rangkaian kumparan dapat ditentukan fase listrik yang dihasilkan. Susunan rangkaian kumparan pada stator generator AC dapat disusun menjadi multi fase, tiga fase, maupun satu fase. Susunan rangkaian kumparan pada stator untuk satu fase dengan delapan kutub dapat dilihat pada Gambar 7.



GAMBAR 7. Susunan lilitan kawat tembaga satu fase pada stator generator dengan delapan kutub

Generator AC bekerja didasarkan atas prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan bolak-balik dibangkitkan oleh putaran medan magnetik dalam kumparan jangkar yang diam, dalam hal ini fluks magnet terletak pada bagian yang sama dengan rotor. Besar tegangan listrik yang dihasilkan bergantung dari:

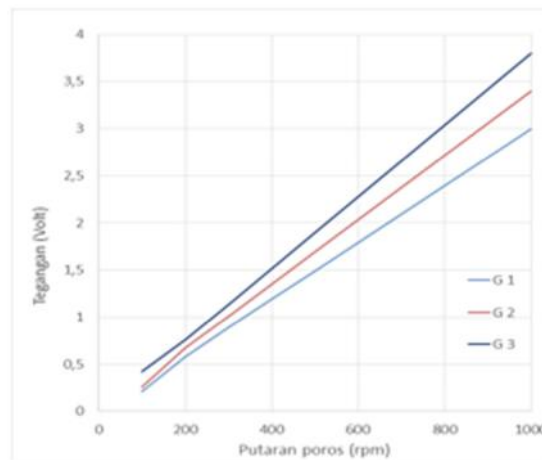
1. Kuat fluks magnet (fluk magnet yang dihasilkan dari magnet permanen sebesar $B = 200 \text{ mT}$).
2. Jumlah dari lilitan dalam kumparan, (dalam aplikasi generator ini jumlah lilitan kawat 200), dengan diameter email kawat tembaga 0,3 mm.

8 November 2017

3. Kecepatan putar dari generator itu sendiri, (dalam aplikasi putaran divariasikan untuk mengetahui kinerja dari generator tersebut).

Konstruksi generator AC dengan rotor dari magnet permanen menjadikan konstruksi menjadi lebih sederhana. Gambar 8 menunjukkan generator AC dengan magnet permanen yang terdiri dari delapan kutub merupakan hasil rancangan. Inti magnetik kumparan terbuat dari oksida besi yang dicetak padat. Konstruksi pengujian pada generator digerakkan oleh motor listrik dengan variasi kecepatan putar. Poros motor listrik dihubungkan langsung dengan poros generator (rotor). Putaran motor listrik diukur menggunakan *tachometer*, sedang tegangan yang keluar dari generator diukur menggunakan multimeter. Gambar 8 menunjukkan grafik kinerja dari generator hasil uji coba magnet permanen hasil penelitian, dengan putaran rotor yang divariasikan.

Hasil uji coba generator menunjukkan tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan putarnya. Hal tersebut sesuai dengan fenomena elektromagnetik, bahwa tegangan induksi yang dibangkitkan berbanding lurus dengan jumlah penghantar (kumparan kawat) yang bergerak memotong medan magnetik. Kecepatan putar yang semakin tinggi menyebabkan semakin banyak penghantar kawat yang memotong medan magnet. Semakin banyak penghantar kawat yang memotong medan magnet semakin besar pula tegangan induksi yang dibangkitkan.



GAMBAR 8. Kinerja generator hasil uji coba dari aplikasi magnet permanen hasil penelitian dengan variasi inti kumparan G 1 = inti kumparan penuh, G 2 = inti kumparan separuh, G 3 = tanpa inti kumparan

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Oksida besi hasil limbah tukang pandai besi merupakan bahan mineral magnetik dengan penyusun fase magnetit / Fe_3O_4 dan fasemaghemit/ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Oksida besi tersebut menunjukkan sifat sebagai bahan ferimagnetik. Hasil kalsinasi berdasarkan penelusuran standar JCPDS mengindikasikan fase barium heksaferit dan hasil uji VSM meunjukkan bahan feromagnetik bersifat magnet permanen. Berdasarkan analisa tersebut oksida besi hasil limbah tukang pandai besi dapat dimanfaatkan sebagai bahan magnet permanen.

ACKNOWLEDGMENTS

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, Kopertis Wilayah V Yogyakarta dengan Program Hibah Produk Terapan dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta dengan kontrak penelitian no: 061/HB-LIT/IV/20017.

DAFTAR PUSTAKA

1. Behera, Bhagirathi, Mira Das and G. S. Rana, 2012, Studies on ground water pollution due to iron content and water quality in and around, Jagdalpur, Bastar district, Chattisgarh, India, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2012, Vol 4(8), p.3803-3807.
2. Benecki, W. T., 2013, The Permanent Magnet Market 2013, *Magnetics 2013 Conference*, February 7- 8, 2013, Orlando, Florida
3. Johan, Akmal., 2010, Analisis Bahan Magnet Nanokristalin Barium Heksaferit ($\text{BaO}\cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) dengan Menggunakan High-Energy Milling, *Jurnal Penelitian Sains*, Vol.14(1), p. 19-24.
4. Mazaleyrat, F., A. Pasko, A. Bartok, dan M. LoBue., 2011., Giant Coercivity Of Dense Nanostructured Spark Plasma Sintered Barium Hexaferrite, *Journal of Applied Physics* Vol, 109, p.1-3.
5. Rashad, M. M., dan I. A. Ibrahim., 2011., A Novel Approach for Synthesis of M-Type Hexaferrites Nanopowders Via The Co-Precipitation Method, *J Mater Sci: Mater Electron* (2011), Vol. 22, p.1796–1803.

6. Rusianto, Toto., M. Waziz Wildan, Kamsul Abraha, dan Kusmono, 2012, The Potential of Iron Sand from the Coast South of Bantul Yogyakarta as Raw Ceramic Magnet Materials, Jurnal Teknologi Vol. 5(1), p.62-69.
7. Rusianto, Toto., M. Waziz Wildan, Kamsul Abraha, dan Kusmono, 2012, Magnetic Ceramic Materials from Iron Sand of the South Coast Bantul Yogyakarta, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 16-17 Oktober 2012.
8. Rusianto, Toto., M. Waziz Wildan, Kamsul Abraha, dan Kusmono, 2015, Characterizations of Ceramic Magnets from Iron Sand, International Journal Of Technology, Vol. 6(6), p.1017-1024.
9. MMPA Standard Specifications No. 0100-00 For Permanent Magnet Materials, (Magnetic Materials Producers Association) 8 South Michigan Anenue Suite 1000, Chicago, Illinois 60603.

Karakterisasi Sambungan *T* Hasil Pengelasan MIG Pada Baja Dengan Variasi Ukuran *Fillet*

Yustiasih Purwaningrum^{1,A)}, Dwi Darmawan, & Panji Lukman Tirta Kusuma

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

^{a)}*yustiasih.purwaningrum@uii.ac.id*

Abstract.

Sambungan jenis *T* banyak digunakan pada proses assembly dalam pembuatan kapal. Kerusakan yang sering terjadi pada sambungan *T* adalah distorsi dan retak pada sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran *fillet* las yang optimal pada sambungan *T* baja karbon rendah grade A dengan tebal 12 mm. Pengelasan menggunakan gap 5 mm. Variasi *fillet* las yang digunakan adalah 6 mm, 8 mm dan 10 mm. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan las lapis banyak (*multilayer*). Proses pengelasan dengan mesin las MIG (Metal Inert Gas) menggunakan tegangan 20 volt. Gas pelindung yang digunakan adalah argon dengan kecepatan alir 15 liter/menit. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian komposisi kimia, uji tarik dengan standar JIS Z 2201, uji kekerasan dengan metode mikro vickers, pengujian distorsi, uji foto mikro dengan mikroskop optik dan uji korosi dengan media air laut. Hasil pengujian tarik menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar terdapat pada hasil las dengan ukuran *fillet* las 10 mm yaitu 132.35 MPa. Hasil pengujian korosi pada hasil las dengan *fillet* las 6 mm, 8 mm dan 10 mm adalah 0.35 : 0.59; dan 0.48 mmpy. Nilai ketidakrataan hasil pengelasan pada semua variasi pengelasan dapat dikategorikan baik karena mempunyai nilai dibawah 0.02 mm. Hasil fotomikro daerah logam induk dan HAZ berupa ferit dan perlit sedangkan pada daerah las berupa Acicular ferrite, Widmanstatten Ferrite dan Grain Boundary Ferrite.

Kata kunci : Sambungan *T*, *Fillet* las, MIG, Struktur mikro

1. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan banyak dipakai dalam bidang konstruksi, otomotif, perkapalan, pesawat terbang, dan pada bidang lainnya (Gery, dkk. 2005). Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint* (ASME section IX, 2001). Metal Inert Gas (MIG) adalah proses pengelasan yang menggunakan elektroda terumpan dan gas pelindung.

8 November 2017

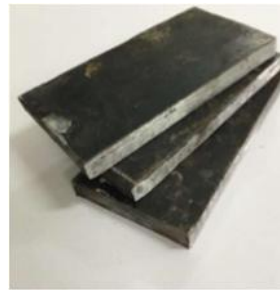
Sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan MIG dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu arus listrik, tegangan listrik, gas pelindung, laju aliran gas, dan ukuran lasan [1-4].

Pada proses pembuatan kapal, pengelasan dilakukan pada proses *assembly*. *Assembly* adalah menggabungkan beberapa komponen kecil menjadi sebuah block. Contoh *assembly* yaitu proses penggabungan antara sekat, *web frame*, dan pelat. Proses tersebut biasanya menggunakan sambungan T (*T-joint*). Kerusakan yang sering terjadi pada sambungan T adalah distorsi atau perubahan bentuk dan retak pada sambungan las. Ada beberapa hal yang mempengaruhi kekuatan sambungan T yaitu tebal las (*fillet*) dan jarak antara bidang pertama dan bidang kedua (*gap*). Sifat mekanik hasil pengelasan T ditentukan oleh geometri lasan [5]. Ukuran *gap* dan *fillet* merupakan parameter penting yang berpengaruh pada penetrasi, ukuran lasan, dan crack hasil lasan [6].

2. MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

2.1 Material

Material yang digunakan adalah 3 buah plat baja karbon rendah LR Gr A (Gambar 1) dengan ukuran 140 mm x 60 mm x 12 mm yang disambung dengan bentuk sambungan T.



GAMBAR 1. Plat Baja Ukuran 140 x 60 dengan tebal 12 mm

2.2 Metode Penelitian

2.2.1. Proses Pengelasan

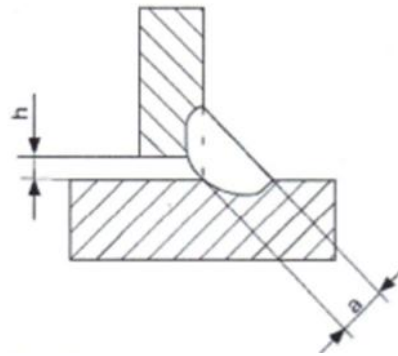
Proses pengelasan dilakukan dengan mesin las MIG (*Metal Inert Gas*) dengan menggunakan metode *multilayer*. Parameter pengelasan terlihat pada tabel 1. Gas pelindung yang digunakan adalah argon dengan kecepatan alir 15 liter/menit. Elektroda yang digunakan adalah ER 70s-6 dengan diameter 1,2 mm. Kemiringan *nozzle* las (45-50)^o dan jarak antara *nozzle* dan logam induk sekitar (20 – 30) mm

8 November 2017

Tabel 1. Parameter Pengelasan

No Pengelasan	Kecepatan Kawat Las (mm/s)	Kecepatan Pengelasan (mm/s)	Tegangan (Volt)	Kecepatan Alir gas (l/menit)
1	100.43	6.25	20	15
2	100.43	6.25	20	15
3	100.43	6.25	20	15
4	100.43	5.56	20	15
5	100.43	5.56	20	15

Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan T (Gambar 2) dengan menggunakan *gap* 5 mm dan variasi *fillet* las yang digunakan adalah 6 mm, 8 mm dan 10 mm. Pemilihan *gap* dan *fillet* yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan tabel 2



GAMBAR 2. Skema Sambungan T [7]

$$h = \text{gap}, a = \text{fillet}$$

TABEL 2. Standar gap dan fillet sambungan T [8]

Joint	I	J	K	L
Detail				
G	0 mm	3 mm	5 mm	
L	6 mm	6 mm	6 mm	9 mm
t	12.5 mm			

8 November 2017

2.2.2. Proses Pengujian

Proses pengujian yang dilakukan adalah pengujian distorsi, pengujian tarik, pengamatan fotomikro, pengujian kekerasan dan pengujian laju korosi. Pengujian distorsi dilakukan dengan menggunakan *dial indicator*.

Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik universal dengan standar JIS Z 2201. Pengamatan fotomikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic dengan pembesaran 100 X. Spesimen metalografi dipoles dan dietsa dengan menggunakan HNO₃ 2.5%. Uji kekerasan dilakukan dengan metode mikro Vickers Microhardness menggunakan beban 200 gr selama 10 detik.

Pengujian korosi dilakukan dengan merendam dengan air laut selama 10, 20 dan 30 hari. Kemudian ditimbang pengurangan massa yang terjadi pada spesimen. Nilai laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan 1 berikut ini :

$$R = \frac{K \times \Delta W}{A \times T \times D}$$

Dengan K = konstanta (8.76×10^4)

ΔW = pengurangan berat (gr)

D = massa jenis (gr/cm^3)

A = Volume benda (cm^3)

T = waktu (s)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia dapat terlihat pada tabel 3. Pengujian komposisi kimia dilakukan pada logam induk dan daerah las. Dari hasil pengujian terlihat bahwa ada beberapa unsur yang mengalami perubahan komposisi cukup besar yaitu Al, Si, Cr, Mn dan Cu. Perubahan komposisi tersebut disebabkan karena proses pengelasan MIG menggunakan *filler* yang masuk ke dalam daerah las.

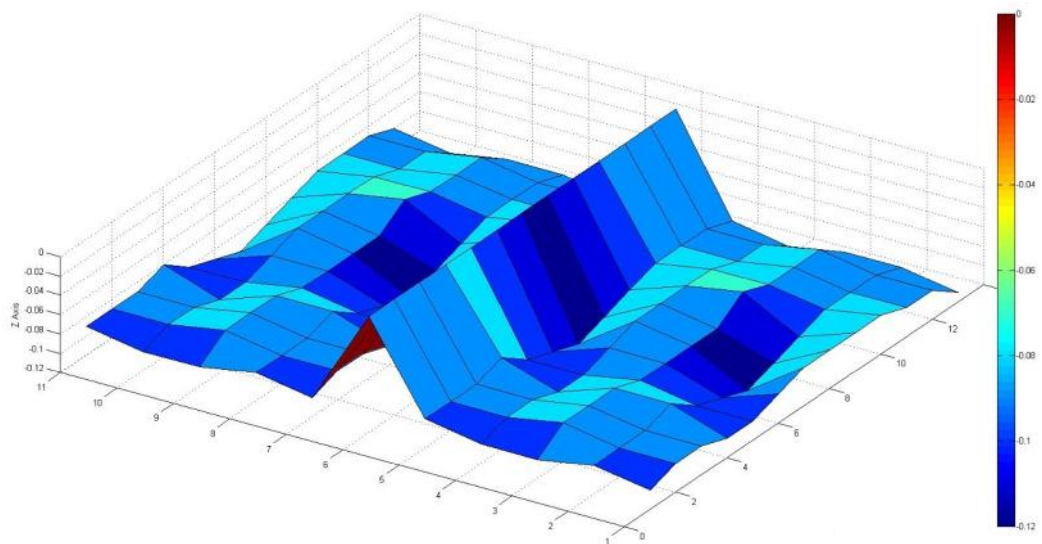
8 November 2017

TABEL 3. Komposisi Kimia

Nama Unsur	Lambang Unsur	Logam Induk	Logam Las
Besi	Fe	99.493	98.685
Sulfur	S	0.019	0.018
Aluminium	Al	0.043	0.026
Karbon	C	0.051	0.058
Nikel	Ni	0.015	0.010
Silikon	Si	0.006	0.332
Krom	Cr	0.178	0.021
Mangan	Mn	0.286	0.764
Fosfor	P	0.013	0.014
Nitrogen	N	0.016	0.026
Magnesium	Mg	0	0.002
Tembaga	Cu	0.001	0.063
Titanium	Ti	0	0.001

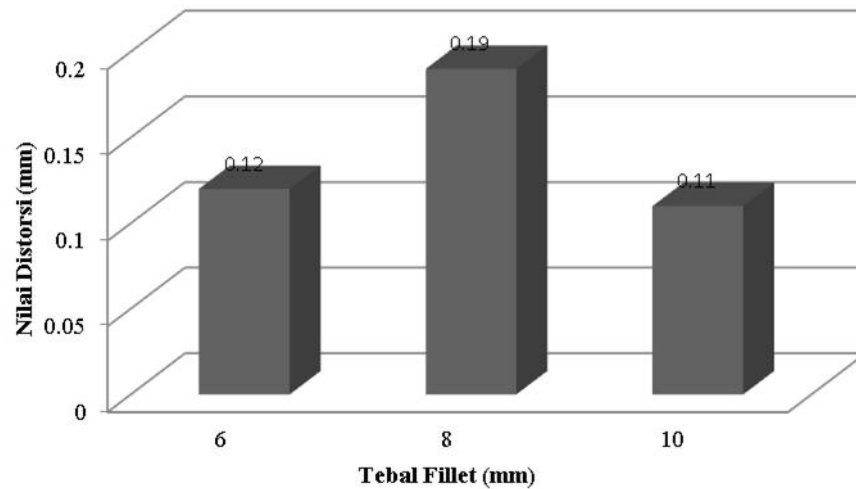
3.2. Pengujian Distorsi

Hasil pengujian distorsi dapat terlihat pada gambar 3 dan gambar 4. Dari gambar 3 terlihat kontur permukaan dari hasil pengelasan. Sedangkan gambar 4 menunjukkan nilai rata-rata hasil pengelasan. Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai ketidakrataan pada fillet 6 dan 10 mm mempunyai nilai hampir sama yaitu 0.11 dan 0.12 mm. Sedangkan pada hasil las dengan fillet 8 mm mempunyai nilai lebih besar 78.33 %.



GAMBAR 3. Nilai Distorsi Hasil Pengelasan hasil las dengan *fillet* 6 mm

8 November 2017

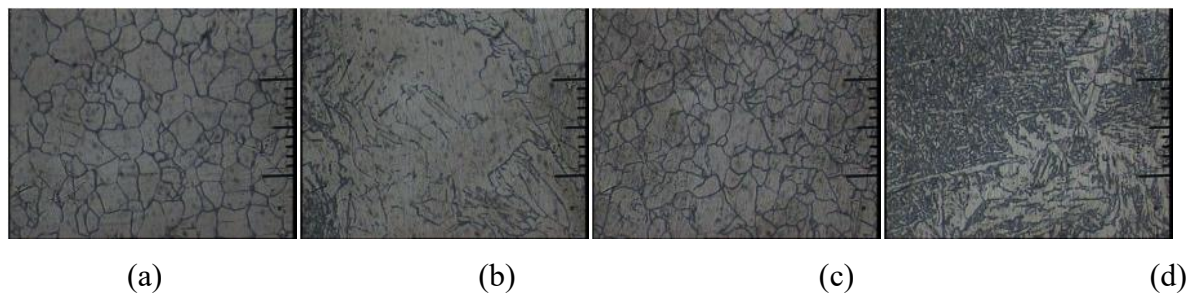


GAMBAR 4. Nilai Distorsi Hasil Pengelasan

3.3. Pengamatan Fotomikro

Gambar 5 menunjukkan fotomikro hasil pengelasan. Pengamatan fotomikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x. Pada daerah logam induk, struktur mikro yang terlihat adalah ferit dan perlit. Hasil penelitian ini menunjukkan daerah HAZ dapat dibagi menjadi 2 bagian menurut struktur mikronya yaitu HAZ halus dan HAZ kasar.

Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah logam induk yang mengalami perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh panas pengelasan. Perbedaan struktur mikro daerah HAZ disebabkan karena proses pengelasan yang dilakukan adalah proses multilayer, sehingga ada sebagian daerah HAZ yang mengalami pemanasan ulang (*reheated*).



(a)

(b)

(c)

(d)

GAMBAR 5. Fotomikro Hasil Pengelasan

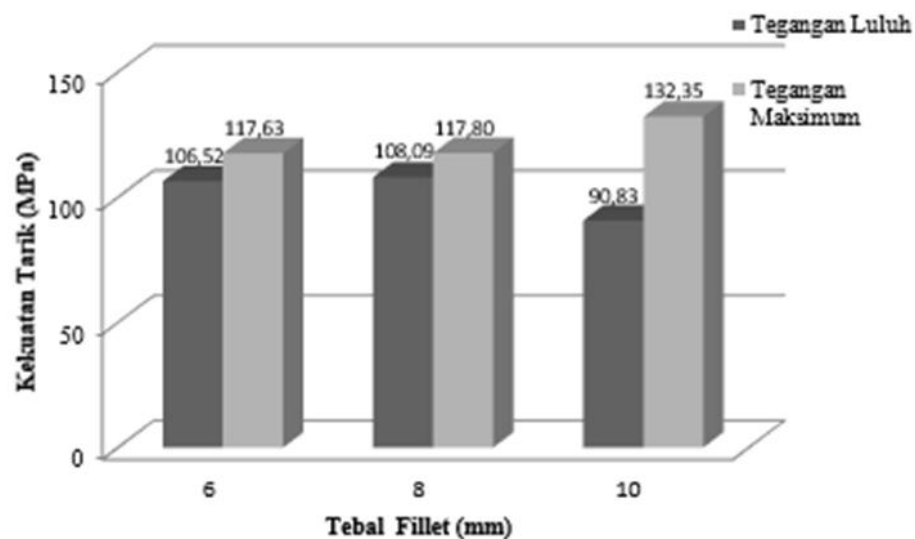
(a) Logam induk (b) HAZ kasar (c) HAZ halus (d) daerah las

8 November 2017

Untuk daerah las, struktur mikro yang terbentuk adalah ferit Accicular yang mempunyai bentuk cecil dan orientasi arah acak, ferit batas butir (Grain boundary Ferrite), dan ferit Widmanstätten.

3.4. Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan 3 spesimen untuk setiap variasi tebal *fillet*. Hasil pengujian dihitung nilai rata-ratanya. Hasil pengujian tarik terlihat pada gambar 6. Nilai tegangan tarik terbesar terdapat pada hasil las dengan menggunakan *fillet* 10 mm yaitu 132.35 MPa.

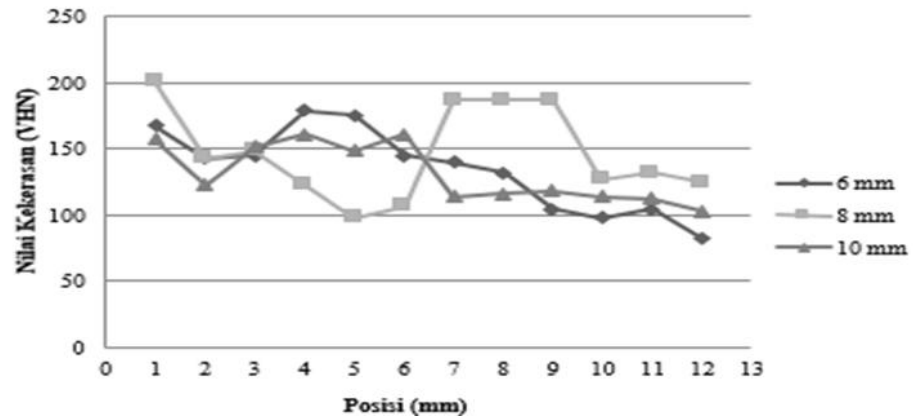


GAMBAR 6. Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan

3.5. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah las, HAZ dan logam induk. Distribusi nilai kekerasan dapat terlihat pada gambar 7. Nilai kekerasan hasil las dengan *fillet* 6 mm dan 10 mm mempunyai kecenderungan yang sama yaitu mempunyai nilai HAZ lebih tinggi dibandingkan logam induk, hal tersebut sesuai dengan hasil pengamatan fotomakro yang menunjukkan butiran pada daerah HAZ lebih kecil dibandingkan daerah yang lain. Sedangkan pada hasil las dengan *fillet* 8 mm, daerah HAZ mempunyai nilai kekerasan paling rendah.

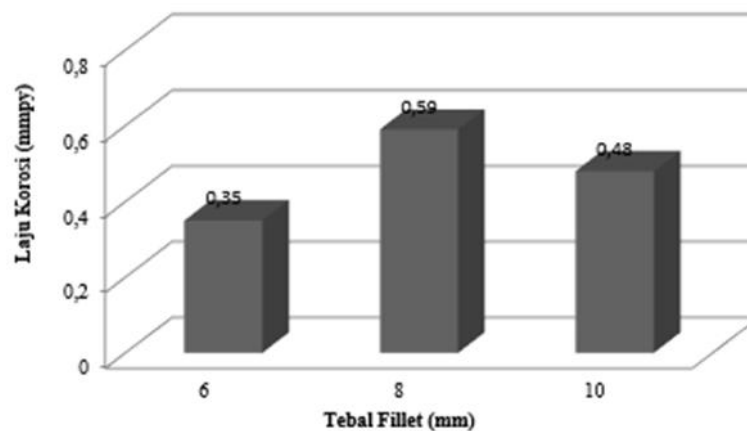
8 November 2017



GAMBAR 7. Nilai Kekerasan Hasil Pengelasan

3.6. Pengujian Laju Korosi

Gambar 8 menunjukkan nilai laju korosi hasil pengelasan sambungan T dengan ukuran *fillet* 6, 8 dan 10 mm. Hasil pengujian menunjukkan nilai cukup untuk hasil las dengan fillet 6 mm dan 10 mm yaitu mempunyai nilai pada rentang nilai antara 0.1 – 0.6 mmpy [8] sedangkan pada hasil las dengan fillet 8 mm masuk kategori kurang. Nilai ketahanan terhadap korosi dapat ditingkatkan dengan pelapisan atau pengecatan pada permukaan logam.



GAMBAR 8. Laju Korosi Hasil Pengelasan

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

- Nilai ketidaktrataan hasil pengelasan untuk *fillet* 6, 8 dan 10 mm yang mempunyai nilai 0.12; 0.19; dan 0,11 dapat dikategorikan baik.

8 November 2017

- Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada hasil las dengan fillet 10 mm yaitu 132.35 MPa, sedangkan hasil las dengan *fillet* 6 mm dan 8 mm mempunyai nilai 117.63 MPa dan 117.80 MPa
- Struktur mikro hasil pengelasan dengan semua variasi fillet adalah sama yaitu ferit dan perlit pada daerah logam induk dan HAZ, sedangkan pada daerah las berupa ferit Accicular, ferit batas butir dan ferit Widmanstatten.
- Laju korosi hasil las dengan *fillet* 6 mm dan 10 mm dapat dikategorikan cukup, sedangkan hasil las dengan *fillet* 8 mm masuk kategori kurang.

REFERENSI

- R. Kumar, S. Kumar, Study of mechanical properties in mild steel using metal inert gas welding, *Int. J. Res. Eng. Tech.* 03(04) (2014) 751-756.
- J. P. Ganjigati, D. K. Pratihari, A. R. Choudhury, Modelling of the MIG welding process using statistical approaches, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* 35(2008) 1166-1190.
- U. Usme, M. Bayramoglu, Y. Kazancoglu, S. Ozgun, Optimization of weld bead geometry in TIG welding process using grey relation analysis and Taguchi method, *Mater. Tech.* 43(3)(2009) 143-149.
- S. C. Juang, Y. S. Tarng, Process parameters selection for optimizing the weld pool geometry in the tungsten inert gas welding of stainless steel, *J. Mater. Proc. Technol.* 122(1)(2002) 33-37.
- M. Vasudevan, A. K. Bhaduri, B. Raj, K. P. Rao, Genetic-algorithm-based computational models for optimising the process parameters of A-Tig welding to achieve target bead geometry in type 304 L(N) and 316 L(N) stainless steels, *Mater. Manuf. Proc.* 22(5) (2007) 641-649.
- A. S. Babkin, Effect of the gap and welding conditions on weld dimensions, *Weld. Int.* 20(2006) 300-306. A. E. Öberg, S. Wikstrand, V. Mattsson, Impact of gaps on resources efficiency in heavy welding industry, [www. http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/240909/local_240909.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/240909/local_240909.pdf), accessed date 12 october 2016
- H. H. Uhlig, Uhlig's Corrosion Handbook, 2 ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, (2000).

8 November 2017

Analisa Pengerasan Permukaan Spesimen *Bushing* S45c Dengan Metode *Quenching* Media Celup Air Menggunakan Mesin Induksi Dan *Tempering* Menggunakan Mesin *Furnace*

Muhammad Dzulfikar^{1, A)}, Helmy Purwanto^{1, B)}, Ferdi Andika^{1, C)}, & Rifky Ismail^{2, D)}

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim, Semarang.

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

^{a)}dzulfikar@unwahas.ac.id ^{b)}helmypurwanto@unwahas.ac.id ^{c)}ferdiftmesin@gmail.com

^{d)}ismail.rifky@gmail.com

Abstract.

The surface hardening to improve the wear resistance was carried out by *quenching* with induction machine, then *tempering* by furnace to improve the toughness. The purpose of this research is to find out the distribution of hardness and microstructure of S45c Steel. S45c steel is designated as spare part material for bulldozer bushing of Komatsu D40. Induction machine is used for heating the specimen at austenite *temperature* which choosed as following 800 °C, 850 °C, 900 °C, then cooling with water quench. *Tempering* is done by furnace as heating with *temperature* 300 °C for 2 minutes. The surface hardness are rising from the average of 10 HRC on raw material to an average of 50 HRC and the structure changed to martensite after quench. The *tempering* lower the average hardness by 3-5 HRC with the dominant martensite microstructure.

Keywords: surface hardening, hardness and microstructure.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cukup pesat ini telah menjadi bagian yang tidak bisa dipisahkan dari dunia industri, sebab adanya ilmu pengetahuan dan teknologi akan menghasilkan produk industri yang berkualitas tinggi, sehingga mampu bersaing dipasaran.

Bushing adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bushing track link pada bulldozer merupakan salah satu komponen pada sistim undercarriage. Bushing memiliki beban impact berupa hentakan dan gesekan dengan teeth sprocket dan pin. Sehingga karakteristik dari Bushing tersebut harus mampu menerima beban impact berupa hentakan dan ketahanan aus yang baik (Nugroho, 2012).

Proses perlakuan panas adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam (Kusuma, 2013).

Perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan permukaan dengan cara quench dilakukan dengan mesin induksi. Pemanasan induksi merupakan proses pemanasan benda kerja menggunakan metode induksi elektromagnetik. Arus Eddy yang dihasilkan dalam logam menyebabkan pemanasan pada logam. Pemanas induksi dapat digunakan dalam berbagai fungsi, antara lain pengerasan permukaan, peleburan logam, pengelasan, dan pemanasan pada *temperatur* yang diinginkan (Ismail, dkk 2015)

Pemanasan hingga pada suhu austenit dilakukan dan dilanjutkan proses quench untuk mentransformasi menjadi fasa martensit (Purwanto, 2011). Akan tetapi martensit yang keras cenderung getas dan tidak tahan terhadap benturan atau hentakan. Proses *temper* dapat meningkatkan keuletan dan mempertahankan ketahanan aus (Murtiono, 2012).

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kekerasan dan struktur mikro spesimen baja S45C sebagai pengganti bushing bulldozer D40 dengan metode *quenching* menggunakan alat pemanas mesin induksi dan *tempering* menggunakan mesin furnace.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan adalah baja S45C yang kandungannya mendekati komposisi kimia material *bushing bulldozer*. Hasil pengujian komposisi spesimen *bushing* dan baja S45C dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2

TABEL 1. Komposisi unsur pada spesimen *bushing bulldozer*

Unsur	Fe	C	Mn	Ni	Cr	Mo	Si	Al	S
% Kandungan	97,755	0,466	0,963	0,089	0,176	0,029	0,186	0,029	0,016

TABEL 2. Komposisi unsur spesimen baja S45C

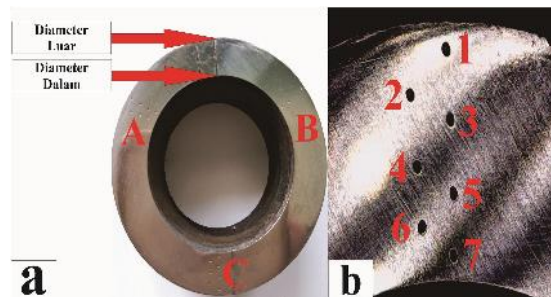
Unsur	Fe	C	Mn	Ni	Cr	Mo	Si	Al	S
% Kandungan	98,373	0,575	0,577	0,012	0,021	-0,001	0,300	0,020	0,018

8 November 2017

2.2 Metode

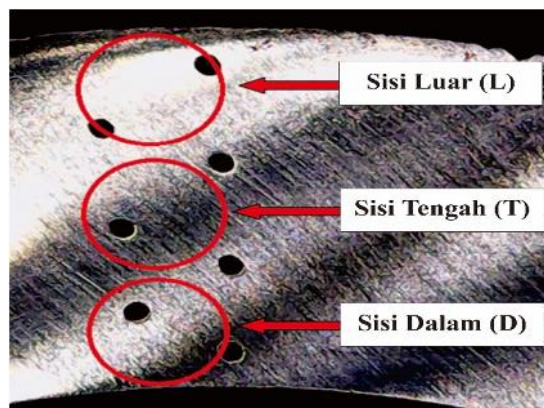
Pada penelitian ini baja S45C dilakukan austenisasi pada suhu 800 °C, 850°C, dan 900 °C dengan menggunakan mesin induksi. Austenisasi dilakukan pada media celup air dan menggunakan variasi koil 2 dan 3 lilitan.

Hasil quench dilakukan analisa kekerasan dan struktur mikro untuk memilih sampel yang akan dilanjutkan pada proses *temper*. Sampel pilihan dipanaskan ulang pada suhu 300 °C selama 2 menit pada mesin *furnace*. Setelah proses *temper* maka dilakukan kembali analisa kekerasan dan struktur mikronya. Pada uji kekerasan dilakukan di 3 daerah permukaan dengan masing-masing 7 titik kekerasan dari diameter luar spesimen dimulai dari jarak 0,5 mm dari diameter luar ke diameter dalam dengan jarak 1 mm seperti terlihat pada Gambar 1. Sementara untuk struktur mikro penyebutan posisi pengambilan data pada saat pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 2.



GAMBAR 1. Pengambilan data kekerasan: (a) Tigakelompok pengambilan kekerasan (b)

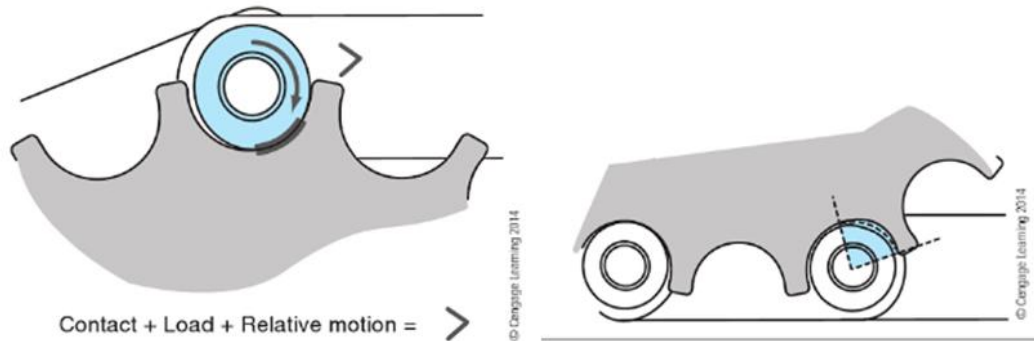
Detail kelompok



GAMBAR 2. Pengambilan data struktur mikro

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Saat *bulldozer* beroperasi dengan gerak maju, terjadi dua jenis pembebanan pada bagian-bagian *track link* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 (a). *Bushing* akan berputar pelan saat memasuki *sprocket*, dan saat *bulldozer* bergerak maju *bushing* pertama yang berkontak dengan *sprocket* akan terkena beban sebesar 85%, 15% sisa beban diserap tiga *bushing* berikutnya. Saat terjadi *mismatch* antara *sprocket* dan *track pitch* selama beroperasi, *bushing* akan bergeser pada tempatnya dan bergesekan dengan gigi *sprocket* sehingga timbul aus pada kulit luar *bushing* juga aus pada gigi *sprocket* ditunjukkan pada Gambar 3 (b). (Huzij, dkk 2013)

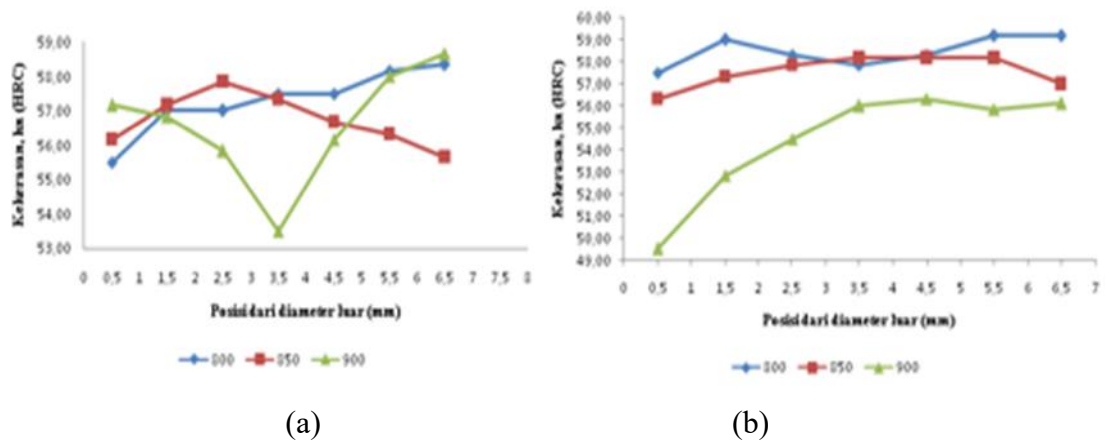


GAMBAR 3.(a) Terjadinya aus pada *track*. (b) Terjadinya aus pada *track pin* dan *bushing* pertama.

3.1. Hasil Karakterisasi Kekerasan

Berdasarkan Gambar 4 (a) dapat dilihat hasil kekerasan setelah dilakukan perlakuan *quenching*2 koil (frekuensi 56 kHz) dengan masing-masing beda suhu pemanasan. Setelah pengujian *quenching* spesimen mengalami kenaikan kekerasan secara signifikan dari rata-rata raw material 10 HRC menjadi 50 HRC. Kekerasan tertinggi terdapat pada pemanasan 900°C pada posisi 6,5 mm dari diameter luar yaitu menjadi sebesar 58,67 HRC sedangkan rata-rata nilai kekerasan paling rendah yaitu pada pemanasan 900°C pada posisi 3,5 mm dengan nilai kekerasan 53,50 HRC.

8 November 2017



GAMBAR 4. Grafik kekerasan hasil *quenching*: (a) dengan koil 2 lilitan, frekuensi 56 kHz, dan (b) dengan koil 3 lilitan, frekuensi 48 kHz.

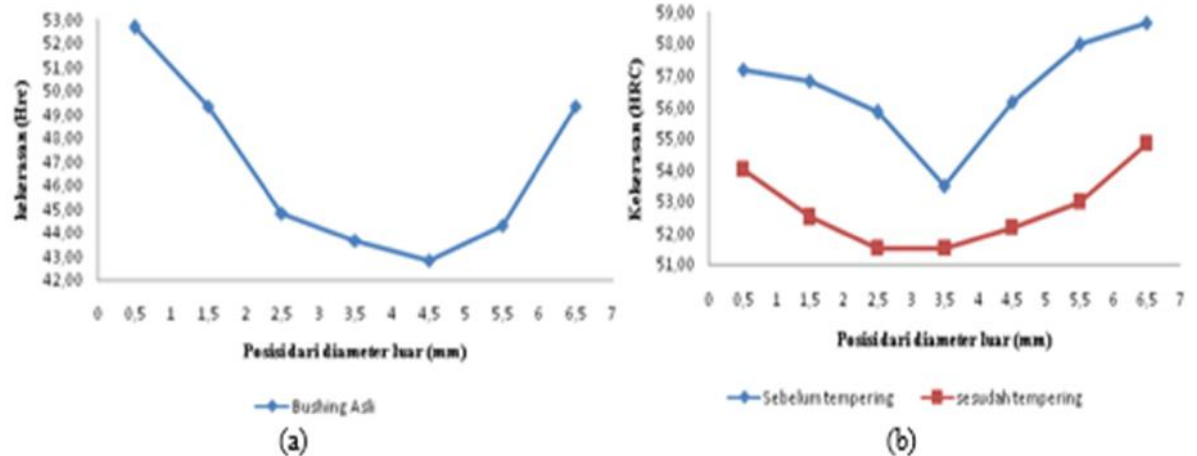
Berdasarkan Gambar 4 (b), yaitu pemanasan induksi dengan 3 koil (48 kHz), dapat dilihat hasil kekerasan tertinggi pada pemanasan 800°C pada posisi 5,5 mm dan 6,5 mm dari diameter luar yaitu sebesar 59,17 HRC sedangkan rata-rata nilai kekerasan paling rendah yaitu tetap pada pemanasan 900°C pada posisi 0,5 mm dengan nilai kekerasan 49,50 HRC.

Menurut Bayuseno, dkk (2014) bahwa nilai kekerasan yang terlalu tinggi akan menimbulkan kegetasan dalam material sehingga perlu dilakukan pengujian tempering guna menurunkan kekerasan, kekuatan tarik, peningkatan keuletan dan ketangguhan baja. Untuk itu spesimen baja S45C pemanasan suhu 900°C dan suhu 800°C masih perlu dilakukan pengujian tempering untuk hasil yang maksimal.

Fenomena hasil kekerasan yang terjadi setelah *quenching* dengan mesin induksi pada koil 2 maupun 3 lilitan ini memang mengalami kenaikan kekerasan yang signifikan. namun persebaran kekerasan yang tidak merata. Fenomena ini oleh Rudnev, dkk (2003) disebut Ring effect yaitu Jika sebuah konduktor dibengkokkan sehingga bentuknya menyerupai cincin maka aliran dalam konduktor akan terdistribusi ulang. Garis fluks magnetik akan terkonsentrasi dibagian dalam cincin. Data hasil pengujian kekerasan setelah 2 spesimen di *tempering* menggunakan mesin *furnace* dengan suhu 300°C dan waktu penahanan 2 menit. Spesimen yang telah dilanjutkan ke pengujian *tempering* yaitu spesimen dengan suhu pemanasan 900°C pada koil 2 lilitan. Hasilnya dibandingkan dengan persebaran kekerasan spesimen *bushing* asli pada Gambar 5.

8 November 2017

Dari hasil pengujian menunjukkan kekerasan yang berbeda pada setiap titiknya. Untuk kekerasan tertinggi didapat di posisi 0,5 mm dari diameter luar yaitu dengan nilai kekerasan 52,66 HRC, sementara untuk kekerasan paling rendah berada di posisi 5,5 mm yaitu dengan nilai kekerasan 42,83 HRC dan naik kembali nilai kekerasannya di posisi 5,5 mm dan 6,5 mm.

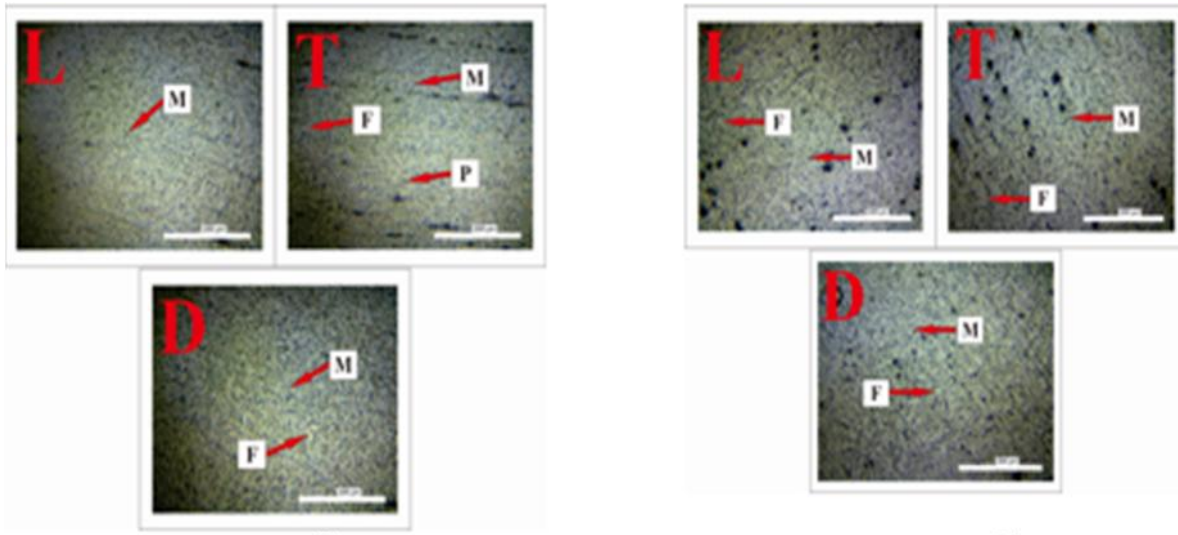


GAMBAR 5. Grafik kekerasan: (a) bushing asli, dan (b) spesimen S45C dengan induksi 2 koil, 56 kHz, celup air dan sesudah tempering.

3.2. Hasil Karakterisasi Struktur Mikro

Gambar 6 (a) menunjukkan bagian luar dan dalam terlihat banyak terbentuk struktur martensit (M). Terbentuknya struktur martensit (M) ini menyebabkan kenaikan kekerasan pada bagian atas dan bawah spesimen bushing bulldozer tersebut, namun pada bagian tengah masih terdapat sebagian struktur ferit (F) dan perlit (P) karena kekerasan pada bagian tengah tersebut lebih rendah dari pada bagian atas dan bawah. Untuk itu bushing bulldozer D40 memiliki tingkat kekerasan tertinggi pada posisi 0,5 mm dan posisi 6,5 mm bawah dari diameter luar.

8 November 2017



Pada Gambar 6 (b) terlihat Sisi Luar (L), Tengah (T), dan Dalam (D) spesimen setelah *tempering* pasca *quenching*. Padaketigatitik yang dilakukan uji struktur mikro tersebut rata-rata sudah membentuk fasa yang sama yaitu mempunyai fasa martensit dan ferit.

4. KESIMPULAN

Hasil eksperimen *quenching* induksi dan *tempering furnace* pada baja S45C dengan tujuan mendapatkan spesifikasi sifat material seperti *bushing bulldozer D40* sudah mencukupi dari sisi nilai kekerasan. Dari sisi permukaan diameter luar dan dalam setara antara 51-54 HRC, kelebihan *bushing* asli lebih ulet di permukaan sisi dalam dengan nilai kekerasan 42 HRC lebih rendah 9 HRC daripada spesimen eksperimen S45C. Dari sisi struktur mikro material juga tidak berbeda, dimana persebaran martensit pada spesimen *bushing* asli dan spesimen S45C cenderung merata dan seragam.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih pada LP2M Unwahas Semarang untuk *support* dana penelitian.

REFERENSI

1. Bayuseno, A, P., Yohana, E., Dzulfikar, M., Prasetyo, D, I., Khafidh, M., dan Ismail, R. 2014., Pengaruh Tempering Menggunakan Pemanas Induksi Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Material Baja St-60 Pasca Quenching., Universitas Diponegoro., SNTMUT – 2014.
2. Huzij, Spano, Bennett, S. 2013., “Modern Diesel Technology: Heavy Equipment Systems, 2nd Ed”. John Wiley & Sons, Inc. Kanada
3. Ismail.R., Aprilitama. N.R dan Sugiyanto., 2015., Pengamatan struktur mikro dan kekerasan pada roda gigi pasca Pengerasan permukaan menggunakan pemanas induksi. Universitas Diponegoro. Jurnal Rotasi. Vol. 17, No. 3, 145-152.
4. Kusuma.A.,<https://andarkusuma.wordpress.com/2013/01/13/heat-treatment-pada-logam/>., Diakses 13 Januari 2013.
5. Murtiono.A., 2012., Pengaruh quenching dan tempering terhadap kekerasan dan kekuatan tarik serta struktu rmikro baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit., Universitas Sumatera Utara., Jurnal e-dinamis., Volume II, No.2. September 2012.
6. Nugroho.T.A., Penelitian Tentang Peningkatan kekerasan pada permukaan bushing dengan heat treatment metode konvensional., Universitas muhammadiyah Surakarta., Naskah Publikasi., Oktober 2012.
7. Purwanto.H., 2011.,Analisa quenching pada baja karbon rendah dengan media solar., Universitas Wahid Hasyim., Jurnal Ilmiah Momentum., Vol. 7, No. 1, April 2011 : 36-40.
8. Rudnev, V.I., Loveless. D., Cook R., 2003, Handbook of Induction Heating, Marcel Decker, Inc., New York.
9. Yogantoro.A., 2010., Penelitian pengaruh variasi temperature pemanasan low tempering, medium tempering dan high tempering pada medium carbon steel produksi pengecoran batur-klaten terhadap strukturmikro, kekerasan dan ketangguhan (toughness)., Universitas Muhamaddiyah Surakarta., Skripsi Hal 18-23. Agustus 2010.

Estimasi Kestabilan Sifat Keramik Basis Silikat Dalam Sintering Tungku LPG Jenis *Swing Counter Flame*

Wahyono Suprpto

Ketua Kelompok Dosen Teknik Material Jur. Teknik Mesin FT-UB

E-mail: wahyos@ub.ac.id

Dalam pabrikasi keramik, proses glasisasi bahan non-organik terjadi pada suhu tinggi membentuk senyawa-senyawa: oksida (Na_2O), karbida (SiC), silikat ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$), Borida (TiB), dan hidrat ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Umumnya keramik mempunyai ketahanan aus dan kekerasan tinggi, kekuatan tekan lebih tinggi dari kekuatan tariknya, sebagai isolator panas dan elektrik, dan rapuh. Namun sifat-sifat tersebut dapat turun secara signifikan dengan adanya sifat *hygroscopic* pada keramik. Dalam penelitian ini spesimen *green ceramic* basis silikat di bentuk kotak dengan berat 2000g, 6000g, 8000g. Spesimen dibakar dalam tungku keramik jenis *swing counter flame* sampai suhu 1200 °C selama 7 jam. Setelah tungku dingin keramik dikeluarkan dan diamati perubahan beratnya setiap hari selama satu minggu dengan timbangan digital elektrik. Penurunan berat dari *green ceramic* ke *red ceramic* mencapai 8,51% – 8,70% dan perubahan berat pasca pembakaran mencapai 0,22% – 0,31%. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi tingkat kestabilan sifat dan kematangan keramik.

Kata kunci: Glasisasi, senyawa, higroskopik, kestabilan, dan kematangan.

PENDAHULUAN

Keramik sebagai produk manufaktur banyak diproduksi untuk kebutuhan rumah tangga (tradisional), isolator listrik/panas dan komponen mesin (industri). Keramik didefinisikan sebagai campuran material non organik (logam dan non logam) yang di bakar sampai suhu glasisai sehingga membentuk sifat baru yang permanen. Tingkat kematangan keramik dinyatakan dengan sifat *hygroscopic* (penyerapan terhadap uap air), keramik dengan tingkat kematangan tinggi maka semakin rendah kemampuan uap air masuk ke badan keramik dan semakin stabil berat jenisnya. Menurut Haluk (2011), keramik yang ditekan pada 40 – 50 MPa dan di *spray* serbuk kering kandungan airnya 5 – 7% dilanjutkan sinter suhu 1180 – 1220 menghasilkan berat jenis maksimum. Sekarang keramik banyak digunakan untuk mengganti tulang manusia yang patah (kecelakaan) atau rusak (umur) yang disebut keramik modern atau *medical ceramic*.

8 November 2017

Industri keramik membutuhkan energy panas yang besar (19.363 MJ/ton) dan kualitas keramik umumnya ditentukan dari proses pembakaran. Pembakaran *green ceramic* menjadi keramik berkualitas membutuhkan suhu tinggi mulai 800 – 2000 °C) dan waktu yang lama (lebih dari 8 jam). LPG mempunyai beberapa kelebihan baik energy kalor maupun emisi gas buangnya dibandingkan dengan bahan bakar padat (kayu, batu bara) dan cair (kerosene, residu). Yang mana nilai kalor LPG, batu bara, kerosene masing-masing 11.220 kkal/kg, 10.479 kkal/kg, 4.800 kkal/kg. Struktur nyala pembakaran LPG di atmosfer memiliki dua daerah lidah kerucut dalam (warna kuning) panas rendah dan kerucut luar yang berkobar (warna biru kehijauan) panas tinggi 1500 °C, Jagruti, 2014.

Tiga jenis material utama dalam keramik adalah lempung, feldspar, dan silikat masing-masing berfungsi sebagai bahan: plastisitas, pengikat atau pelebur, dan penguat. Dalam *green ceramic* ukuran dan distribusi serbuk mineralnya merupakan faktor penting dalam menentukan sifat akhir dan kerapatan. Dan tanah liat memiliki sifat-sifat yang khas yaitu bila dalam keadaan basah mempunyai sifat plastis tetapi bila dalam keadaan kering akan menjadi keras, sedangkan bila dibakar menjadi padat dan kuat. Tanah liat umumnya sangat halus dengan ukuran partikel kurang dari 2 mikron dengan ekspansi panas sangat kecil dan kestabilan termalnya tinggi. Garcia menyatakan massa hilang selama pemanasan sangat rendah (<1%), hal ini hanya disebabkan oleh pembebasan sisa air dalam material, menunjukkan stabilitas yang tinggi terhadap suhu.

Keramik sebagai material buatan tertua di dunia dan sintering (pemanasan/pembakaran) merupakan proses kunci yang berpengaruh terhadap kualitas, produktivitas, dan biaya produksi. Tentu deformasi dan retak selama proses sintering berkurang dan kualitas keramik meningkat. Keramik ini banyak digunakan karena karakternya yang unik dan prima. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk sintering tidak hanya meliputi pencetakan tetapi juga terjadinya perubahan distribusi suhu secara kasar. Ming Li dkk, mensimulasikan distribusi suhu nosel burner, tekanan bahan bakar, tekanan angin atomizing dan tekanan udara sekunder pembakaran merupakan variable bebas dan suhu pembakaran rata-rata sebagai variable terikat. Medan distribusi panas dan suhu sintering dapat dirancang untuk mengendalikan tegangan termal keramik, Bin 2011.

METODE PENELITIAN

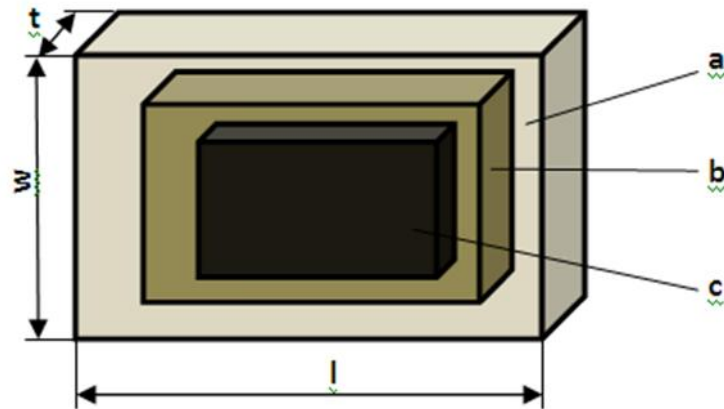
8 November 2017

Prosedur Percobaan

Penelitian ini menggunakan serbuk bahan dari tanah liat, feldspar, chemot, alumina, dan air di aduk-aduk sampai platis yang disebut adonan. Bahan adonan keramik dibuat dengan basis fraksi berat masing-masing 20%. Selanjutnya adonan keramik di peram selama satu hari (24 jam) dan di bentuk rectangular dengan menggunakan cetakan kayu. Proses selanjutnya cetakan keramik basah diangin-anginkan dalam ruangan terbuka (terhindar dari sinar matahari) selama satu minggu untuk mencegah penguapan cepat (cepat). Berikutnya cetakan keramik (*green ceramic*) ditimbang, di ukur dimensinya dan di jemur dibawah sinar matahari selama 2 minggu (15 hari). Dalam proses pengeringan *green ceramic* setiap hari geometrinya di awal dan akhir penjemuran di ukur. Setelah berat awal-akhir-awal penjemuran menunjukkan penurunan dan kenaikan (adanya uap air di ruang penyimpanan) maka proses pengeringan selesai.

Proses berikutnya keramik disusun dalam Kiln untuk di panasi (*presintering*) dan di bakar (*sintering*) masing-masing selama 3 jam dan 4 jam. Dalam proses pemanasan atau pembakaran, katup LPG pada *burner* di buka 10%, 30% masing-masing untuk 1 jam pertama pada aliran LPG 5 l/menit, 1 jam ke dua dan ke tiga dengan aliran LPG 10 l/menit. Pada proses pemanasan ini kandungan air *green ceramic* menjadi 0% untuk mencegah ledakan pada proses *sintering*. 4 – 7 jam berikutnya aliran LPG dinaikan menjadi 20 l/menit dan katup udara bakar dibuka sehingga LPG dan udara bakar bercampur bersamaan dengan katup *burner* di buka 75%. Setelah proses *sintering* selesai *burner* dimatikan dengan menghentikan aliran campuran LPG dan udara bakar, semua lubang dalam kiln di tutup. Dua hari setelah pembakaran Kiln di buka dan keramik di keluarkan untuk di periksa dan di uji kualitasnya. Gb. 1 menunjukkan skema geometri penyusutan yang terjadi selama proses pembuatan keramik yang mana l, w, dan t adalah panjang, lebar, dan tebal,

8 November 2017



Gambar 1. Skema penyusutan dalam pembuatan keramik

a). Keramik basah, b). Keramik mentah (*green*), c). Keramik (*sintered*)

Rancangan Penelitian

Penelitian eksperimental ini di rancang untuk mengetahui korelasi geometri terhadap tingkat tingkat kestabilan dan kematangan keramik. Sebagai variable bebas (parameter proses) adalah geometri *green* keramik (berat dan dimensi). Dan sebagai variable terikat (produk) adalah penyusutan (*shrinkage*) dan penyerapan air (*hygroscopic*). Parameter kontrolnya: bukaan katup burner, kapasitas aliran LPG-udara bakar, dan waktu *preheating* dan *sintering*.

Alat dan Tempat Percobaan

Gb. 2 menunjukkan Kiln (tungku pembakar) yang di lengkapi dengan empat unit *Bunsen burner*, kompresor, regulator, tabung diffuser, flow meter, dan batang baja (termometer) yang digunakan dalam penelitian ini. Peralatan penelitian seperti: Kiln, Bunsen Burner, tabung diffuser, dan Thermometer batang baja menggunakan bahan-bahan yang tersedia di pasar lokal dan di manufaktur oleh Bengkel/Lab. Material $\alpha\beta\gamma$, Unit *Bunsen Burner* terdiri dari katup putar untuk udara bakar primer, saluran LPG dan udara bakar sekunder diperoleh dari pengaturan katup kompresor dan mengalir melalui slang bahan bakar, tabung pencampur udara bakar primer dan LPG, dan *orifice* campuran LPG dan udara bakar, seperti terlihat dalam Gb. 2c. Penelitian Kestabilan Sifat Keramik dalam Sintering Tungku LPG Jenis *Swing Counter Flame* dilakukan di Bengkel/Lab. Material $\alpha\beta\gamma$, d/a. Jl. TIRTO UTOMO Gg. 5 No. 10 LANDUNGSARI – MALANG, Telp. 0341-460901, HP/WA. 08123394088.

8 November 2017



Gambar 2. Peralatan dalam eksperimen

- a). Kiln keramik dengan sistem *swing-counter flame*, b). Grid pada alas ruang bakar keramik, c).
Bunsen burner dan *Mix Gas Orifice*

DATA dan PEMBAHASAN

Spesimen ini merupakan keramik blok tekan tanpa lapisan tipis glasir (*inorganic*) dan eksperimen ini melihat tingkat kematangan dan penyerapan uap air udara pada keramik. Umumnya kualitas keramik dinyatakan dengan simbol KW1, KW 2, KW 3 dan seterusnya semakin tinggi angkanya semakin rendah kualitas. Biasanya, ditandai dengan geometri (bentuk, ukuran, corak, dan warna) yang tidak pas. Namun secara *engineering* kualitas ditentukan oleh tingkat kematangannya yang ditunjukkan dengan: penyusutan, kekerasan (\pm HR 45N), ketahanan aus, berat jenis, porositas, titik lebur, kapasitas panas, dan indek refraksi. Tabel 1 menunjukkan fraksi elemen bahan keramik dalam eksperimen dan penambahan air sebagai bahan perekat.

8 November 2017

Tabel 1. Bahan keramik blok tekan

Element	Clay	Fielspar	Cement	Chamot	Air
Fraksi berat [%]	35	25	20	10	10

yang mana: clay, fielspar, cemen, dan chamot adalah hidrated aluminum silica ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anorthite ($\text{Ca}(\text{Si},\text{Al})\text{O}$), kwarsa (SiO_2), dan pengikat (silicon nitride, boron nitide, aluminium nitride, dan alumina)

Tingkat Kematangan Keramik



Gambar 3. Keramik percobaan a). Susunan dalam Kiln, b). Spesimen *green and sintered ceramic*

Evaluasi warna dapat dicapai dengan dua cara: kualitatif dengan pencocokan visual subjektif atau kuantitatif (objektif). Ruang warna yang dirasakan secara visual terdiri dari tiga dimensi yang ditunjukkan oleh ringan (hitam ke putih), rona (berwarna: merah, hijau, biru, dll.) Dan saturasi atau kroma (kroma tinggi atau saturasi mengindikasikan warna murni, sedangkan, Kroma rendah atau saturasi menunjukkan warna yang lebih banyak mengandung abu-abu). Cahaya yang terlihat dari setiap titik pada sebuah produk adalah panjang gelombang pemantulan spektral benda-benda dan kekuatan spektral dari sumber cahaya yang menyinari dan warna suatu benda sangat berpengaruh terhadap sifat-sifatnya. Basis klasifikasi warna keramik pasca pembakaran (*sintering*) mengacu pada warna standar Format Auto shape Microsoft. Douglas menyatakan, warna keramik tergantung pada sejumlah faktor diantaranya: ketebalan, jenis dan fraksi material, dan ketrampilan teknisinya.

8 November 2017

Gb. 3b menunjukkan terjadinya perubahan warna *orange* dengan kekuatan yang berbeda seperti: (1) specimen 8000 g, (2) specimen 4000 g, (3) specimen 2000 g masing-masing kekuatan warna lighter 80%, 60%, 40%. Bertambahnya berat atau ketebalan specimen warna semakin ringan atau warna menjadi lebih terang. Perubahan tingkat keringanan warna tersebut memberikan petunjuk pada tingkat pemanasan, Panas pembakaran (q) yang sama dapat memberikan kenaikan suhu berbeda yaitu specimen yang lebih berat suhunya lebih rendah dari specimen yang ringan. Sebaliknya specimen yang lebih tipis suhunya lebih tinggi sehingga menghasilkan warna yang lebih kuat (dengan sifat keringan lebih rendah). Parameter (lightness) berkurang karena konsentrasi pigmen meningkat, seperti yang dinyatakan Schabbach. Jarad, menyatakan bahwa meningkatkan ketebalan porselen enamel mengurangi nilainya (CIE L *, lightness).

Refraktori asam: adalah refraktori yang berbasis clay, silika dan fire clay. Hasil pembakaran Kaolin dengan oksida besi ($\pm 0,5\%$) warnanya sangat putih, kaolin dengan oksida ($\pm 0,7\%$) berwarna sedikit *creame*, *ball clay* dengan kandungan besi ($\pm 1\%$) berwarna *creme*, tanah *stoneware* dengan kandungan oksida besi 2,5% berwarna kelabu, dan tanah bata merah dengan kandungan oksida besi ($\pm 7,5\%$) berwarna merah. Faktor lain yang mempengaruhi warna bakar adalah unsur kapur yang mengakibatkan warna bakar menjadi pucat.

Pada proses pembakaran ini biasanya massa cement hilang sekitar 5 % karena teroksidasi. Fraksi berat Clay yang besar berfungsi untuk melindungi butiran cement dan melindungi dari proses oksidasi, disamping itu fungsi dari clay adalah mengikat partikel cement menjadi partikel yang kompak karena komponen penyusun clay adalah alumino -silikat. Fungsi penambahan clay juga dapat mempercepat proses sintering, karena sintering cement murni terjadi pada temperatur yang sangat tinggi (1700°C sampai 1800°C). Sehingga diharapkan dengan teknik yang lebih sederhana dan biaya lebih murah dapat dilakukan pembuatan keramik SiC. Dua metode digunakan untuk mengurangi isi MIS bebas bergerak dalam umpan. Percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa berbagai metode dapat menurunkan penetrasi MIS ke CRB secara individu atau kombinasi. Memanipulasi CRB adalah kemungkinan terbatas pada metode pengisian dan pengisian yang mengekspos CRB hanya dengan serangan ringan oleh SIM. Meningkatkan permukaan spesifik tanah menghentikan penetrasi MIS hampir seluruhnya pada percobaan krus kecil untuk pakan tertentu.

8 November 2017

Menambahkan karbohidrat juga berhasil. Umpan halus dengan karbohidrat tampak paling menjanjikan. Akhirnya, untuk menghindari penggilingan tanah yang mahal, pakan diuji di mana tanah diganti dengan mineral pembentuk gelas yang mudah terbentuk (GFMs).

Penyerapan uap air udara

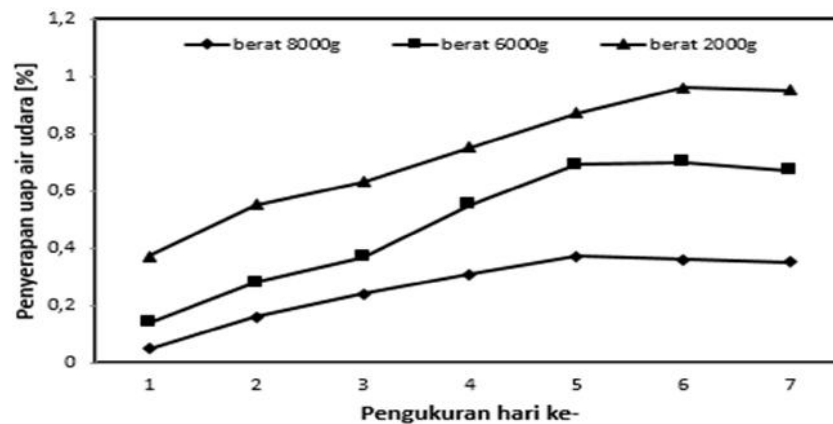
Berat jenis didefinisikan sebagai perbandingan antara massa (m) dengan volume (v). untuk pengukuran volume, khususnya bentuk dan ukuran yang tidak beraturan sulit ditentukan. Porositas keramik *cordierite* berpori dapat dilakukan dengan metoda Archimedes (standar ASTM C. 373 – 72). Wahyono (2011) merumuskan persamaan porositas dengan *Picnometry* sebagai berikut : *To make a casting Quantity (total) porosity casting products were analyzed by Saltykov equation refers to the standard ASTM B311-93 and ASTM C948, which formulated;*

$$P = \frac{\gamma_{Tdural} - \gamma_{castdural}}{\gamma_{Tdural}} \times 100\%$$

where γ_{Tdural} and $\gamma_{castdural}$ which each is the theoretical mass density of duralumin (HIPing) and the mass density of casting products. And the use of Archimedes' principle which application in *Pyknometry apparatus refers to the ASTM standard D3800 is formulated;*

$$\gamma_c = \frac{W_A \times \gamma_w}{W_A - W_W}$$

where W_A , W_W , and γ_w each specimen showed heavy in the air and in water, and the mass density of water.



Gambar 4. Diagram karakteristik penyerapan uap air udara

8 November 2017

Gb. 4, menunjukkan penyerapan uap air udara oleh keramik yang telah di sinter pada suhu 1200 °C selama 7 jam. Pada kurva porositas terhadap kenaikan temperatur sintering terlihat bahwa harga porositas akan mengecil dengan naiknya temperatur sintering, porositas mengecil dengan bertambahnya bahan aditif clay. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut, pada saat proses sintering partikel dan clay akan mengisi ruang-ruang diantara SiC, sehingga dengan bertambahnya clay maka benda uji akan semakin memadat. Pada penelitian ini harga porositas masih sangat besar yaitu 13,3 % pada sampel dengan 0 % clay, temperatur sintering 1300°C dan sampel dengan aditif clay 4 % temperatur sintering 1500°C porositasnya 8,8 %. Besarnya harga porositas juga disebabkan oleh digunakannya PVA bahan perekat, dimana PV A merupakan bahan organik sehingga pada saat sintering akan hilang dan meninggalkan jejak pori.

Kesimpulan

Green ceramic basis silikat bentuk kotak dengan berat 2000g, 6000g, 8000g dikeringkan dan dibakar dalam tungku *swing counter flame* sampai suhu 1200 °C selama 7 jam. Selama proses pengeringan dan pasca pembakaran terjadi perubahan berat masing-masing mencapai 8,51% – 8,70% dan 0.05% – 0,37% di hari pertama, 0,35 – 0.95 di hari ke tujuh.

8 November 2017

Daftar Pustaka

Haluk Celik, Effect of Spray-dried powder granularity on porecelain tile properties, Journal of Ceramic Processing Research, Vol. 12, No. 4, pp. 483 – 487 (2011)

Jagruti R. Surange, Navneet K. Patil, Akhilesh V. Rajput, Performance Analysis of Burners used in LPG Cooking Stove-A Review, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, *Volume 3, Special Issue 4, April 2014*

C.A. García-Ubaque, Liliana Giraldo, Juan Carlos Moreno-Piraján Quality study of ceramic bricks manufacture with clay and ashes from the incineration of municipal solid wastes, *Afinidad LXX*, 561, Enero-Marzo 2013

Bin Lin, Feng Liu, Xiaofeng Zhang, Liping Liu, Xueming Zhu, Simulation Technology in the Sintering Process of Ceramics, Edited by Prof. Lutz Angermann, Publisher InTech, 30, January, 2011, ISBN 978-953-307-440-5

F.D. Jarad, B.W. Moss, C.C. Youngson, M.D. Russell, The effect of enamel porcelain thickness on color and the ability of a shade guide to prescribe chroma, dental materials xxx (2006) xxx–xxx

Wahyono Suprpto, Bambang Suharno, Johny Wahyuadi Sudarsono, Dedi Priadi, Effect of Copper and Air Blocking on Porosity Defect of Duralumin Cast, International Journal of Material Engineering and Technology, 2011, Vol. 5, No. 1, pp. 61 – 75

L.M. Schabbach, F. Bondioli, A. M. Ferrari, T. Manfredini, C.O Petter, M.C. Fredel, Prediction Color Of Ceramic Glazes With Kubelka-Munk Model, https://www.researchgate.net/profile/Marcio_Fredel/publication/272745477

8 November 2017

Pengaruh Temperatur Penuangan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Al-Si Pada Cetakan Logam

Mochamad Arif Irfa'i^{1*}, Dzulkiplih², Diah Wulandari¹, & Wahyono Suprpto³

¹*Jurusan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Kampus Unesa Ketintang Surabaya,*

²*Jurusan Fisika, Universitas Negeri Surabaya, Kampus Unesa Ketintang Surabaya,* ³*Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Jl. M.T. Haryono 167 Malang, Jawa Timur, Indonesia*

*Corresponding Author: arifirfai@unesa.ac.id

Abstract

One of the parameters that affect the physical and mechanical properties of Al-5Si alloys in the casting process is the pouring temperature. This study aims to determine the effect of pouring temperature on hardness and microstructure of Al-5Si aluminum alloy using metal mold. The material used in casting process is Al-5Si aluminum alloy. The pouring of molten metal into the mold is carried out at temperatures of 680°C, 705°C, 730°C, 755°C and 780°C. While the mold temperature is the same for each temperature variable pouring is 150°C. Aluminum metal smelting is done in reverberatory furnace. The aluminum smelting process is carried out for approximately 30 minutes to 1 hour. The process of controlling the pouring temperature and mold temperature is carried out using a thermocouple gun. The results showed that the highest hardness values in metal molds were obtained at a temperature of 680°C of 126.1 HV. The microstructure is formed to see the precipitate around the dendrite structure.

Key words : metal mold, pouring temperature, hardness and microstructure

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin berkembang mendorong para ilmuwan untuk terus melakukan inovasi. Teknologi pengecoran merupakan salah satu cabang bidang manufaktur yang terus melakukan inovasi. Rekayasa yang dilakukan adalah menciptakan suatu material yang kuat, ringan serta tahan korosi. Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik material hasil pengecoran adalah temperatur penuangan. Temperatur pada saat penuangan ke dalam cetakan mempengaruhi kualitas pada saat proses pembekuan (solidifikasi). Proses pembekuan yang berlangsung sempurna akan berdampak pada kualitas hasil pengecoran yang maksimal.

8 November 2017

Kualitas hasil pengecoran yang maksimal ditandai dengan sedikitnya porositas dan struktur mikro yang terbentuk.

Paduan Al-Si merupakan paduan yang umum digunakan pada komponen otomotif seperti blok silinder, piston, tuas rem dan velg. Paduan Al-Si banyak digunakan untuk pembuatan komponen otomotif karena ketersediaan bahan baku yang relatif mudah didapat, namun penelitian-penelitian yang membahas mengenai paduan Al-5Si masih sangat jarang dilakukan. Selain itu, kandungan silikon pada paduan Al-Si menghasilkan beberapa keunggulan seperti sifat mampu cor yang baik, mudah dilakukan proses pemesinan serta ketahanan terhadap korosi yang baik. Beberapa penelitian terkait temperatur penuangan dan cetakan logam. Ivan (2009) melakukan pengecoran dengan temperatur penuangan 680°C, 710°C dan 740°C dengan ketebalan pola cetakan 3, 5, 7 dan 11 mm menunjukkan bahwa sifat mampu alir logam cair meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan dari 680°C sampai 740°C sebesar 42,26%. Sedangkan kekuatan tariknya mengalami penurunan seiring dengan penambahan temperatur penuangan. Li, Chen, Ke (2010) meneliti struktur mikro dan sifat mekanik dari paduan Mg-Gd-Y-Zr yang dicor dengan cetakan logam dan *lost foam casting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari paduan. Kekuatan luluh *lost foam casting* paduan Mg-Gd-Y-Zr adalah 265 MPa. Kekuatan luluh *lost foam casting* lebih rendah dibandingkan kekuatan luluh pengecoran dengan cetakan logam (*metal moulding*) yang mencapai 268 MPa. Sedangkan kekuatan tarik dari *lost foam casting* paduan Mg-Gd-Y-Zr adalah 285 MPa. Kekuatan tarik ini juga lebih rendah dari kekuatan tarik pada cetakan logam sebesar 325 MPa. Hal ini disebabkan tingkat porositas yang tinggi pada *lost foam casting*.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka kajian mengenai temperatur penuangan pengecoran paduan aluminium Al-Si dengan menggunakan cetakan logam perlu dilakukan. Terutama kajian mengenai temperatur penuangan terhadap kekerasan dan struktur mikro paduan Al-Si.

2. MATERIAL DAN METODE

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan aluminium seri Al-5Si. Hasil uji komposisi kimia paduan ditunjukkan seperti tabel dibawah:

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur Paduan	Komposisi (%)
Al	84,4
Si	5,21
Fe	0,501
Cu	1,99
Mn	0,328
Mg	0,112
Cr	0,0325
Ni	0,0771
Zn	0,00
Sn	0,018
Ti	0,0334
Pb	0,229
Zn	6,92
Ca	0,0002
Su	0,0186
V	0,0136
Zr	0,0042
Na	0.0010
Zr	0.0042

Tungku peleburan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dapur induksi I.706 yang bisa dikontrol temperatur peleburan. Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi dapur induksi I.706 yang dilengkapi kontrol suhu, cetakan logam, thermokopel, timbangan digital. Dapur induksi dilakukan pemanasan awal sampai mencapai temperatur 400°C, kemudian ingot aluminium dimasukkan ke dalam dapur induksi. Pada saat dapur induksi berada pada temperatur 780°C maka sensor temperatur secara otomatis akan memberikan tanda. Paduan Al-Si yang telah mencair dituang ke dalam cetakan logam. Pada saat penuangan, cetakan logam dipanasi pada temperatur 150°C. Proses berikutnya berturut-turut dilakukan penuangan logam cair pada temperatur 755°C, 730°C, 705°C, 680°C. Temperatur cetakan konstan pada temperatur 150°C. Proses berikutnya dilakukan pembuatan spesimen uji kekerasan dan struktur mikro. Metode pengujian kekerasan menggunakan metode uji kekerasan Vickers. Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik di laboratorium pengujian Bahan Universitas Brawijaya Malang.

8 November 2017

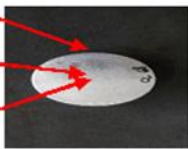



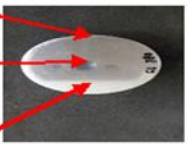
Selanjutnya, data yang diperoleh pada pengujian kekerasan diolah dan ditampilkan seperti pada gambar 1. Hasil pengujian struktur mikro digunakan untuk menganalisa perubahan struktur mikro akibat temperatur penuangan yang berbeda pada cetakan logam. Hasil pengujian struktur mikro ini sekaligus digunakan sebagai data pendukung pada hasil pengujian kekerasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kekerasan

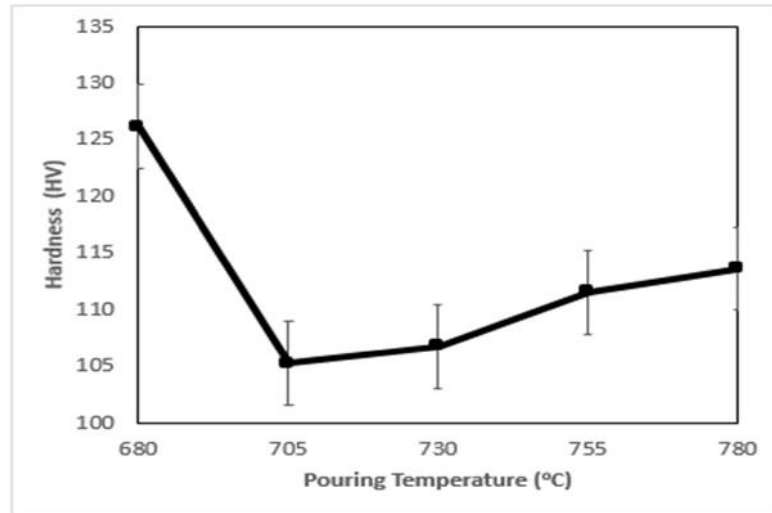
Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan Vickers. Hasil pengujian kekerasan seperti ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. Hasil uji kekerasan Paduan Al-5Si

Temperatur penuangan (°C)	Posisi	Foto makro	Foto			AVG
			D1	D2	HV	
680	Atas		40.25	40.13	126.4	126.1
	Tengah		37.88	38.44	125.2	
	Bawah		37.82	38.44	126.8	
705	Atas		43.75	44.75	106.1	105.2
	Tengah		42.57	43.07	102.1	
	Bawah		42.19	42.57	107.4	
730	Atas		40.32	41.13	107.7	106.7
	Tengah		43.38	42.25	101.5	
	Bawah		40.07	40.69	111	
755	Atas		40.88	41.57	111.17	111.5
	Tengah		40.57	41.19	109.7	
	Bawah		40.94	41.75	113.5	
780	Atas		40	40.63	113.1	113.6
	Tengah		40.82	44.5	111.4	
	Bawah		39.57	39.82	116.3	

8 November 2017

Data yang ada pada tabel 2 selanjutnya diolah dan disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar dibawah

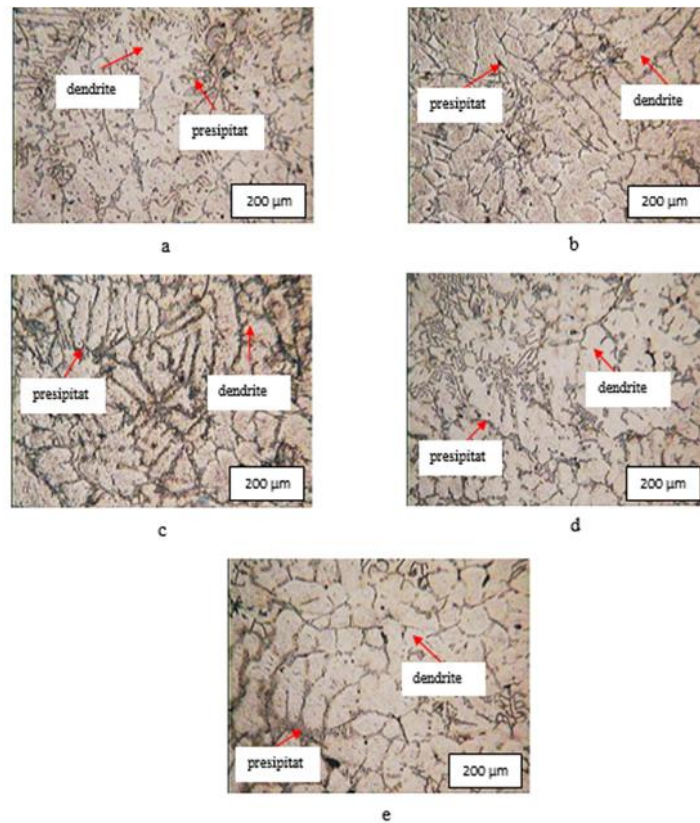


Gambar 1. Hubungan temperatur penuangan dengan kekerasan paduan Al-5Si dengan menggunakan cetakan logam

Hasil pengujian kekerasan seperti ditunjukkan pada grafik diatas terlihat bahwa nilai kekerasan pada cetakan logam pada temperatur penuangan 680°C, 705°C, 730°C, 755°C dan 780°C berturut-turut 126.1 HV, 105.2 HV, 106.7 HV, 111.5 HV dan 113.6 HV. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur penuangan 680°C dengan nilai kekerasan 126.1 HV. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur penuangan tidak diiringi dengan peningkatan kekerasan. Peningkatan temperaturpenuangan menyebabkan waktu pembekuan yang diperlukan oleh logam cair semakin panjang sehingga menyebabkan resiko terjadinya porositas juga semakin besar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Drihandono dkk, 2016. Peningkatan temperaturpenuangan menyebabkan bertambahnya waktu pembekuan dan daerah tumbuh fasa silicon sehingga pemisahan terjadi secara sempurna. Hal ini ditandai dengan struktur mikro yang berupa fasa silicon berubah dari serpihan menjadi globular dan silicon primer kecil menjadi silicon primer besar (Drihandono dkk), 2016).

8 November 2017

3.2 Uji Struktur Mikro



Gambar 2. Struktur mikro pada cetakan logam a. Struktur mikro pada temperatur penuangan 680°C, b. struktur mikro pada temperatur penuangan 705°C, c. struktur mikro pada temperatur penuangan 730°C, d. struktur mikro pada temperatur penuangan 755°C, e. struktur mikro pada temperatur penuangan 780°C

Struktur mikro yang terbentuk pada cetakan logam rata-rata terlihat adanya struktur dendrite dan larutan dasar aluminium. Pada temperatur penuangan 680°C, terlihat didominasi adanya struktur dendrite dan sedikit adanya porositas. Pada gambar 2a terlihat adanya presipitat yang terdispersi membentuk batas butir pada daerah disekitar dendrite. Presipitat yang terdispersi ini berperan dalam meningkatkan *mechanical properties* bahan. Sedangkan pada gambar 2b, presipitat yang terdispersi dan struktur dendrite yang terbentuk relatif sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak struktur dendrite dan presipitat yang terdispersi dalam larutan aluminium mengindikasikan nilai kekerasan semakin baik serta porositas yang semakin sedikit.

4. KESIMPULAN

Nilai kekerasan terendah terjadi pada cetakan logam dengan temperatur penuangan 705°C sebesar 105.2 HV. Nilai kekerasan tertinggi pada cetakan logam diperoleh pada temperatur penuangan 680°C sebesar 126.1 HV. Struktur mikro yang terbentuk berupa presipitat yang terdispersi disekitar struktur dendrite. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak presipitat yang terdispersi dan struktur dendrite yang terbentuk menyebabkan nilai kekerasan semakin tinggi.

ACKNOWLEDGMENTS

Ucapan Terima Kasih disampaikan pada Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas support pendanaan melalui skema Hibah Penelitian Produk Terapan dengan nomor kontrak: 0001.40/UN38.11-P/LT/2017 tanggal 13 April 2017. Ucapan terima kasih yang tulus kami ucapkan kepada Saudara Andik, Okky dan Tian yang telah membantu dalam proses pengambilan data.

REFERENSI

1. Ivan J. A. K., 2009, Pengaruh Temperatur Penuangan, Kerapatan Polystyrene Foam dan Ukuran Mesh Pasir Terhadap Mampu Alir, Sifat Mekanis, Struktur Mikro dan Munculnya Cacat Aluminium Paduan 356,1 yang dicor dengan Metode Evapoarative, Tesis, Universitas Gadjah Mada
2. Jeyakumar, M., S. Sundarraj, S. Vijayalaksmi, G. S. Vinodkumar, 2007, *Cooling Rate Effect on Microporosity and Primary Silicon Formation in Eutectic Aluminum – Silicon Alloy*, Non-Ferrous Technology Development Centre, Hyderabad + GM R&D, India Science Lab
3. Li J., Chen R., Ke W., 2010. Microstructure and Mechanical Properties of Mg-Gd-Y-Zr Alloy Cast by Metal Mould and Lost Foam Casting, Elsevier Science. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 21(2011) pp 761-766.
4. Drihandono, S., Eko Budiyo, 2016. "Pengaruh Temperatur Penuangan, Temperatur Cetakan, dan Tekanan Pada Pengecoran Bertekanan (High Pressure Die Casting/HPDC) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Silikon (Al-Si 7,79 %)". *Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung.
5. Wiyono P, Irawan Yudi S dan Oerbandono Tjuk, 2012, *Pengaruh Aging Treatment Terhadap Cacat Permukaan dan Distribusi Kekerasan Silinder Al-Mg-Si Pada Squeeze Casting*, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang

Fabrication Of Aluminium Composite AA 354.0 (Al-Si-Cu) With Al₂O₃ Particle Reinforce Using Stir Casting Method

Vinda Puspasari^{1a)}, Rochim Suratman^{1,B)}, & Asep Ridwan Setiawan^{1,C)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB

a) vinda.puspasari1993@students.itb.ac.id b) rochim@material.itb.ac.id

Abstract.

Improved mechanical properties of Aluminium Metal Matrix Composites (AMC) and their relatively reduced cost have made them attractive for wide range applications, such as automotive, aerospace, and electronics industries. In this work, metal matrix composite was fabricated from AA.354.0 (Al-Cu-Si) as matrix material reinforced with Al₂O₃ particles using stir casting method. The addition of Al₂O₃ particles was varied from 6 – 12 wt%. Al₂O₃ particles were preheated to 200⁰C and then dispersed in 4 steps into molten aluminium. Hardness and tensile properties of each composites were evaluated before and after addition of Al₂O₃ particles. The result showed that the hardness increase with increasing of Al₂O₃ particles from 54.71 HB for pure AA.354.0 (Al-Cu-Si) and 95.5 HB for specimen with 12 wt% Al₂O₃. The result also showed that tensile strength decrease with addition of Al₂O₃ particles due to porosity.

1. PENDAHULUAN

Komposit digunakan pada berbagai macam aplikasi seperti pada pesawat terbang, pertahanan, dan industri otomotif dikarenakan sifatnya yang unggul, seperti kekuatan spesifik yang tinggi, ketahanan aus, dan kekerasan yang baik. Komposit dengan matriks aluminium memiliki kekuatan, ketahanan termal, ketahanan aus, dan koefisien ekspansi termal yang baik. Material paduan aluminium yang digabungkan dengan partikel keramik tergolong dalam jenis *Aluminium Matrix Composite (AMC)* [1] .

Matriks logam yang dipilih oleh penulis adalah paduan aluminium (Al-Si- Cu) dan penguat yang dipilih adalah partikel keramik alumina (Al₂O₃). Paduan Al-Si-Cu atau paduan 3xxx dipilih dikarenakan paduan ini merupakan paduan yang sering digunakan untuk proses *casting*, paduan ini memiliki kadar Si yang tinggi sehingga cocok untuk diproses dengan *permanent mold casting*. Partikel penguat alumina (Al₂O₃) memiliki kekerasan yang tinggi sehingga komposit ini akan memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik serta massa spesifik yang ringan.

8 November 2017

Dua partikel penguat yang umum digunakan untuk *metal matrix composite* yaitu alumina dan SiC, alumina lebih dipilih dibandingkan SiC dikarenakan memiliki kekerasan, kekuatan spesifik, serta modulus elastisitas yang lebih tinggi dibanding SiC. Penambahan alumina divariasikan sehingga dapat ditentukan pengaruh alumina pada karakteristik dan sifat komposit.

Material komposit bermatriks logam dapat diproduksi dengan keadaan semi padat, cair yaitu dengan *stir casting* dan *infiltration casting* ataupun dalam keadaan padat dengan proses *powder metallurgy*. Metode *stir casting* dipilih dikarenakan metode ini relatif cepat dan murah serta sering digunakan. Pada teknik *stir casting*, partikel penguat dimasukkan ke dalam aluminium yang telah dicairkan kemudian diaduk dengan menggunakan mesin dengan kecepatan putaran tertentu agar matriks dan partikel penguat dapat tercampur dengan baik.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Paduan aluminium AA. 354.0 digunakan sebagai material matriks dan partikel keramik Al₂O₃ digunakan sebagai material penguat. Komposisi kimia paduan aluminium AA.354.0 dapat dilihat pada tabel 1. Partikel keramik alumina ditambahkan untuk meningkatkan kekerasan komposit aluminium dengan komposisi yang dapat dilihat pada tabel 2. Partikel keramik alumina (Al₂O₃) yang digunakan berbentuk serbuk dan berukuran 6,81 µm.

TABEL 1. Komposisi Paduan Aluminium AA. 354

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Sb	Al
9,68	0,946	1,668	0,154	0,164	1,546	0,03	0,01	0,06	0,10	0,02	0,01	85,57
0						6	5	9	2	5	4	

TABEL 2. Persentase Komposisi Al₂O₃ dan Paduan Aluminium

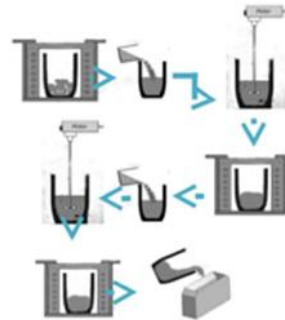
Nama sampel	Persentase Al ₂ O ₃	Massa Al	Massa Al ₂ O ₃
1	Al-Si-Cu reference	500 gram	0
2	Al-Si-Cu 6% wt Al ₂ O ₃	470 gram	30 gram
3	Al-Si-Cu 9% wt Al ₂ O ₃	455 gram	45 gram
4	Al-Si-Cu 12% wt Al ₂ O ₃	440 gram	60 gram

2.2 Metode

2.2.1. Metode Preparasi Komposit

8 November 2017

Paduan aluminium AA. 354.0 dicairkan di dalam tungku pada $T = 800^{\circ}\text{C}$ selama 15 menit. Setelah itu lelehan aluminium dikeluarkan dari tungku dan dilakukan penuangan serbuk alumina sebanyak 4 tahap. Pengadukan dilakukan pada setiap tahap penuangan dengan terlebih dahulu memanaskan batang pengaduk ke dalam *microwave* pada $T = 200^{\circ}\text{C}$ dan pengadukan dilakukan selama 6 menit. Setelah proses pengadukan selesai pada setiap tahapan, aluminium dipanaskan kembali pada $T = 800^{\circ}\text{C}$ selama 10 menit. Proses di atas diulangi sampai seluruh partikel Al_2O_3 terlarut di dalam cairan logam paduan aluminium. Setelah seluruh Al_2O_3 telah tercampur ke dalam paduan aluminium, campuran tersebut dituang ke dalam cetakan permanen yang berukuran $14,8 \times 2 \times 6$ cm yang telah diolesi lapisan lilin terlebih dahulu agar produk tidak lengket pada cetakan.



GAMBAR 1. Proses Pengecoran Sampel

2.2.2. Pengamatan Struktur Mikro

Mikrostruktur komposit diamati untuk mengetahui distribusi partikel keramik alumina serta fasa-fasa yang dihasilkan pada komposit aluminium. Sampel disiapkan dengan ukuran 2×2 cm lalu dilakukan proses *mounting*. Sampel yang telah dilakukan proses *mounting* selanjutnya dilakukan proses *grinding* dan *polishing*. Setelah itu spesimen dietsa dengan menggunakan larutan “*Keller Reagent*” yaitu campuran larutan HCl 10 mL, HNO_3 15 mL, HF 5 mL, dan H_2O 70 mL [2]. Proses etsa dilakukan selama 3-5 detik. Selanjutnya sampel akan dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik, SEM, dan EDS.

2.2.3. Pengujian Kekerasan

8 November 2017

Kekerasan spesimen diukur dengan menggunakan uji Brinnel menggunakan beban 1500 kg. Spesimen yang digunakan berukuran 2 x 2 cm. Kekerasan diukur sebelum dan setelah penambahan Al_2O_3 untuk mengetahui pengaruh penambahan partikel keramik Al_2O_3 terhadap kekerasan. Kekerasan diukur pada 2 titik dan diambil rata-ratanya.

2.2.4. Pengujian Tarik

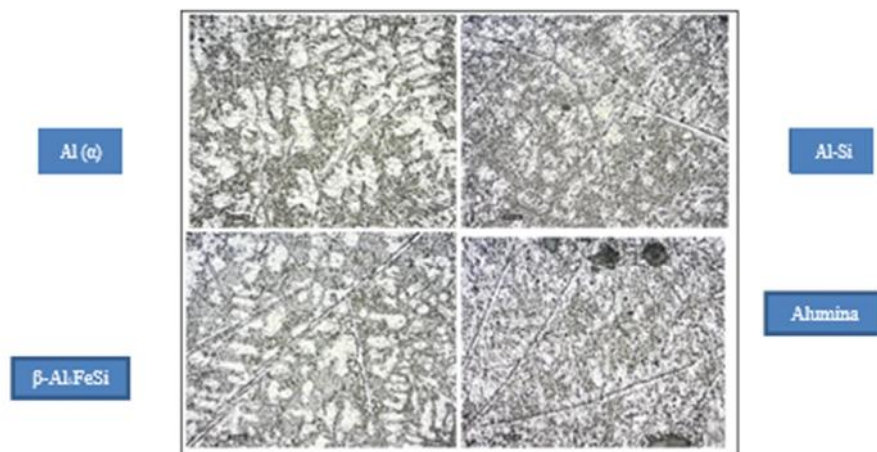
Kekuatan tarik diuji sebelum dan sesudah penambahan Al_2O_3 . Perubahan nilai kekuatan tarik akan diamati seiring dengan penambahan partikel keramik Al_2O_3 . Spesimen dibuat dengan menggunakan proses *machining* dan dimensinya disesuaikan dengan standar ASTM B557M-02a. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik yang memiliki beban maksimal sebesar 2 ton dengan kecepatan pembebanan 8 mm/ menit.

2.2.5. Pengujian Densitas

Densitas diukur dengan menggunakan metode Archimedes, sedangkan densitas teoritis didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan *rule of mixture*. Porositas diukur dengan menghitung selisih antara densitas teoritis dengan densitas aktual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengamatan Mikrostruktur Komposit AA 354.0 Menggunakan Mikroskop Optik

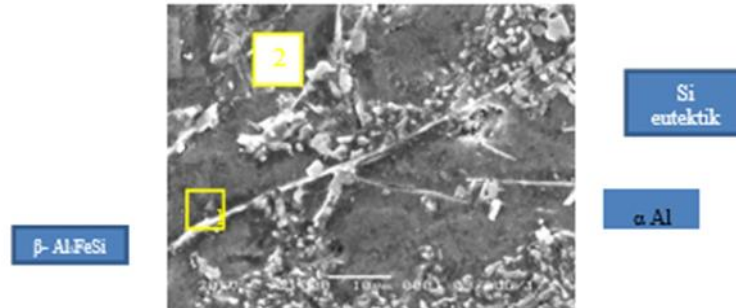


GAMBAR 2. Struktur Mikro Sampel 1(1), Sampel 2(2), Sampel 3 (3) dan Sampel 4(4) dengan Perbesaran 20x dengan Etsa Keller

8 November 2017

Dari gambar terlihat bahwa fasa yang berbentuk seperti jarum lebih terlihat jelas di sampel 3 dan 4. Fasa berbentuk jarum ini adalah Al_5FeSi . Terlihat adanya porositas pada sampel 4. Fasa yang berwarna terang merupakan larutan padat primer α aluminium. Fasa yang berwarna hitam yang mengelilingi daerah putih adalah fasa Al-Si. Fasa ini terbentuk karena persentase Silikon yang besar. Dengan adanya fasa ini akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan, dan dapat menghambat laju korosi paduan aluminium. Pada struktur mikro yang di etsa dengan Keller, fasa alumina terlihat dan tersebar pada fasa lainnya. Alumina terlihat sebagai titik hitam dan jumlahnya semakin banyak seiring penambahan Al_2O_3 yang semakin banyak pula.

3.2 Pengamatan Struktur Mikro dengan Menggunakan SEM dan EDS



GAMBAR 3. Hasil SEM Sampel 3 Perbesaran 2000x

Pengamatan struktur mikro menggunakan SEM bertujuan untuk melihat fasa dengan lebih jelas dikarenakan

perbesarannya bisa mencapai 10.000 kali, perbesaran ini jauh lebih besar dibanding mikroskop optik sehingga fasa akan lebih terlihat jelas bentuk morfologinya, EDS dilakukan pada fasa untuk mengetahui kebenaran fasa tersebut dan senyawa yang ada di dalam fasa tersebut. Fasa yang berbentuk seperti blok adalah fasa Si eutektik, fasa yang mengelilinginya yang berwarna hitam adalah fasa larutan padat Aluminium, dan fasa yang berbentuk tajam seperti jarum adalah fasa β - Al_5FeSi . Setelah itu spesimen dikarakterisasi menggunakan EDS untuk mengetahui senyawa yang ada pada fasa yang diinginkan.

8 November 2017

TABEL 3. Hasil EDS Pada Fasa No 1 (β - Al₅FeSi) Sampel 3

Unsur (keV) %	Massa	Error %	At%	Senyawa	Massa%	Kation K		
O	47,01							
Al K	1,486	45,01	1,09	77,78	Al ₂ O ₃	85,04	13,63	87,2299
Si K	1,739	5,56	1,77	18,45	SiO ₂	11,89	1,62	7,3413
Fe K	6,398	1,01	2,85	1,69	FeO	1,30	0,15	2,3126
Cu K	8,040	1,42	5,66	2,09	CuO	1,78	0,18	3,1162
Total		100,00					15,57	

Fasa yang dikarakterisasi EDS terlihat pada no 1 di dalam gambar yaitu pada fasa tajam AlFe₅Si. Senyawa yang terbaca adalah Al₂O₃, SiO₂, FeO, serta CuO sehingga dapat dipastikan bahwa senyawa ini adalah senyawa β -Al₅FeSi. Selanjutnya akan dilakukan EDS pada fasa Al₂Cu yaitu fasa yang terlihat seperti blok berwarna putih.

TABEL 4. Hasil EDS Pada Fasa No 2 (Al₂Cu) Sampel 3

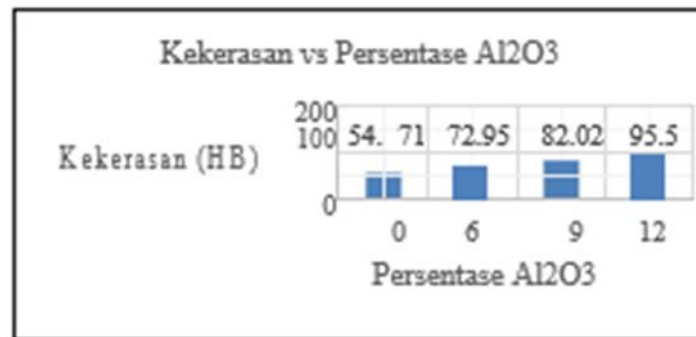
Unsur (keV)	Massa%	Error%	At%	Senyawa	Mass%	Kation	K	
O	46,58							
Al K	1,488	51,95	1,27	97,66	Al ₂ O ₃	98,16	15,87	96,9512
Cu K	8,040	1,47	6,73	2,34	CuO	1,84	0,19	3,0488
Total		100,00		100,00		100,00	16,06	

Fasa yang dikarakterisasi EDS adalah fasa yang ditunjukkan oleh lingkaran merah dan daerah tersebut menghasilkan senyawa Al₂O₃ dan CuO sehingga daerah tersebut dapat dipastikan adalah fasa Al₂Cu.

3.3 Uji Keras Brinell

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan material terhadap indentasi permukaan atau deformasi lokal. Kekerasan menunjukkan kekuatan ikatan antara *interface* partikel penguat dan matriks. Nilai kekerasan vs persentase Al₂O₃ pada spesimen komposit AA.354.0 dapat dilihat pada gambar 4.

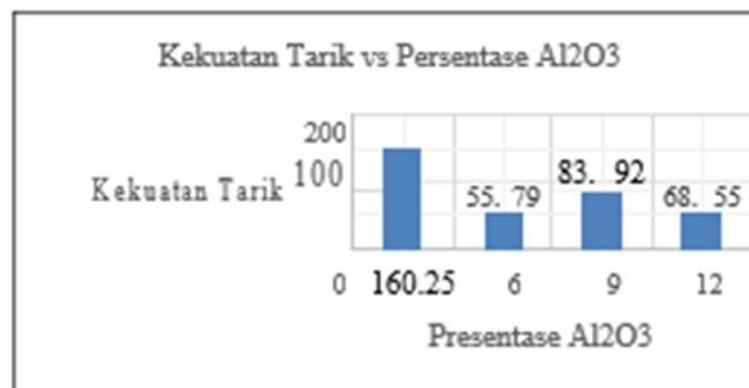
8 November 2017



GAMBAR 4. Grafik Nilai Kekerasan vs Persentase Al₂O₃

Gambar 4 menunjukkan penambahan partikel penguat Al₂O₃ akan meningkatkan kekerasan komposit aluminium AA.354.0 ketika dibandingkan dengan yang tidak diberi partikel penguat. Kekerasan material komposit aluminium AA.354.0 tanpa partikel penguat yaitu 54,71 HB, kekerasan meningkat sampai mencapai nilai maksimum yaitu 95,5 HB pada komposisi 12% Al₂O₃. Semakin besar persentase Al₂O₃ maka terjadi peningkatan ikatan antar partikel matriks dengan partikel penguat sehingga menambah kekerasan komposit. Nilai kekerasan yang meningkat juga disebabkan oleh partikel alumina dapat mengisi matriks aluminium, sehingga partikel alumina akan menghambat pergerakan dislokasi pada matriks aluminium.

3.4 Uji Tarik



GAMBAR 5. Grafik Nilai Kekuatan Tarik Komposit Al-Si-Cu dan Al₂O₃

Gambar 5 menunjukkan penurunan nilai kekuatan tarik seiring dengan penambahan partikel Al₂O₃. Terlihat adanya penurunan nilai kekuatan tarik pada sampel 2 (6wt% Al₂O₃) dan terjadi peningkatan nilai kekuatan tarik pada sampel 3 (9wt% Al₂O₃) lalu kembali mengalami penurunan nilai kekuatan tarik pada spesimen 4 (12wt% Al₂O₃).

8 November 2017

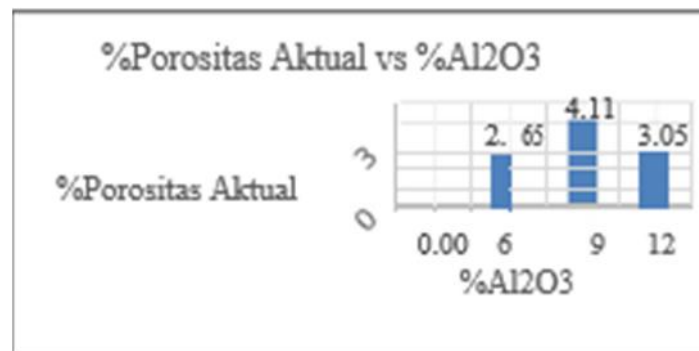
Nilai *tensile strength* AA 354.0 pada literatur yaitu 360-380 MPa. Nilai ini berbeda cukup jauh dengan komposit hasil casting yaitu 160,25 MPa. Hal ini dikarenakan adanya porositas yang menyebabkan pengukuran nilai kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Ikatan *interface* yang kurang baik dikarenakan dispersi yang tidak merata dari material penguat di dalam fasa material matriks. Variabel proses seperti temperatur pemanasan, kecepatan pengadukan, dan posisi pengaduk di dalam lelehan adalah faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam menghasilkan material komposit dikarenakan berdampak pada nilai kekuatan tarik.

3.5 Uji Densitas

Densitas teoritis dihitung dengan menggunakan *rule of mixture*. Densitas aktual komposit diperoleh dengan menggunakan prinsip Archimedes. Tabel 5 menunjukkan densitas teoritis, densitas aktual, dan porositas pada komposit AA. 354.0

TABEL 5. Porositas Komposit AA. 354.0

Spesimen	Densitas Teoritis	Densitas Aktual	Porositas	%Porositas
Al-Si-Cu referensi	2,7	2,7	0	0
Al-Si-Cu 6% wt Al ₂ O ₃	2,719	2,65	0,07	2,65
Al-Si-Cu 9% wt Al ₂ O ₃	2,73	2,62	0,11	4,11
Al-Si-Cu 12% wt Al ₂ O ₃	2,736	2,65	0,08	3,05



GAMBAR 6. Grafik %Porositas vs %Al₂O₃

Nilai persen porositas semakin meningkat seiring dengan penambahan Al₂O₃. Porositas yang ada disebabkan oleh peningkatan area permukaan logam cair yang kontak dengan udara dikarenakan proses pengecoran tidak dilakukan dalam atmosfer yang terkontrol, adanya gas yang terjebak saat proses pengadukan.

8 November 2017

Adanya evolusi hidrogen juga berpengaruh terhadap terbentuknya porositas di dalam komposit. Hidrogen berasal dari uap air yang akan berubah menjadi H₂ seperti reaksi berikut: H₂O → H₂(g) + O₂(g). Kelarutan hidrogen dalam logam cair sangat tinggi, sehingga gas oksigen dan hidrogen akan terjebak di dalam logam cair dan saat membeku gas akan keluar dari logam yang membeku dan meninggalkan rongga udara. Adanya penyusutan juga berpengaruh terhadap adanya porositas, dikarenakan penyusutan berkontribusi terhadap berkurangnya volume pada komposit.

3. KESIMPULAN

Penambahan partikel penguat Al₂O₃ pada matriks aluminium AA 354.0 menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik komposit AA 354.0 dikarenakan adanya porositas yang menyebabkan nilai kekuatan tarik menjadi lebih rendah. Nilai kekerasan meningkat dikarenakan semakin besar persentase Al₂O₃, maka akan terjadi peningkatan ikatan antar partikel matriks dengan partikel penguat sehingga menambah kekerasan komposit, selain itu partikel alumina dapat mengisi matriks aluminium, sehingga partikel alumina akan menghambat pergerakan dislokasi pada matriks aluminium.

REFERENSI

- [1] Vannan, S.Ezil; Vizhian, S. Paul. *Microstructure and Mechanical Properties of as Cast Aluminium Alloy 7075/Basalt Dispersed Metal Matrix Composites*. 2014. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering.
- [2] Voort, George F. Vander. 1984. *Metallography, principles and practice*. ASM International.

Pengujian Performen Mesin Las Gesek Hasil Rancang Bangun Melalui Pengujian

Kekuatan Tarik Hasil Sambungan Las Gesek

Poedji Haryanto¹⁾, Adhy Purnomo, & Carli

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

JL. Prof. H. Sudarto SH., Tembalang, Semarang 50275

Tlp. 024-7473417, 7466420 (hunting), Fax. 024-7472396

E-mail: phary_phary2000@yahoo.com

Abstrak

Las gesek (*Friction welding*) merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan pada kedua permukaan batang yang akan disambung. Gesekan yang berlangsung terus-menerus akibat tekanan pada kedua permukaan, panas akan meningkat sampai mencapai pada temperatur leleh (*melting*). Las gesek sangat baik digunakan untuk mengelas dua bahan yang berbeda (*dissimilar materials*) dan batang yang mempunyai bentuk geometris yang berbeda. Penelitian ini menindaklanjuti penelitian yang telah dilakukan peneliti tentang rancang bangun prototype mesin las gesek, Setelah melalui perbaikan dan penyempurnaan terhadap mesin las gesek hasil rancang bangun, maka penelitian terapan ini menguji performen mesin las gesek agar dapat digunakan sebagai mesin uji las gesek di laboratorium Teknik Mesin. Perbaikan dan penyempurnaan mesin las gesek meliputi, perbaikan mekanisme penggerak utama, mekanisme penekan, perbaikan penggerak hydraulic power unit dan menyetel kesumbuan. Spesifikasi mesin las gesek motor penggerak 2,2 kWatt, putaran 1400 RPM, tekanan hydraulic 25 bar. Pengujian performen las gesek melalui pengujian kekuatan hasil las gesek. Bahan uji yang digunakan Aluminium, baja karbon rendah (ST.60), stainless steel (AISI 304), tembaga, dengan variable waktu gesek, tekanan gesek dan putaran. Kekuatan yang digunakan adalah kekuatan bengkok dan kekuatan tarik.

Kata kunci: mesin las gesek, performen, spesifikasi, kekuatan bengkok, kekuatan tarik.

8 November 2017

PENDAHULUAN

Penelitian ini tentang pengujian performen mesin las gesek (*friction welding*), mesin las gesek yang diuji merupakan hasil penelitian rancang bangun mesin las gesek tahun 2013. Mesin las gesek tersebut sebelum dilakukan uji performen, dilakukan perbaikan dan penyempurnaan yang meliputi:



Gambar Mesin las gesek yang telah di perbaiki



Gambar Mesin las gesek yang akan diperbaiki dan disempurnakan

8 November 2017

1. Mekanisme spindle tetap



Gambar a.



Gambar b

Gambar 1.1. (a) Dudukan poros utama yang belum di sempurnakan dan Gambar (b). Dudukan poros utama yang telah disempurnakan.

- a. Dudukan poros utama
- b. Membuat stopper pengatur kesumbuan spindle
- c. Mengatur ketinggian poros utama
- d. Menyempurnakan baut pengencang dudukan spindle utama

2. Mekanisme penekan hidrolik



Gambar 1.2.



Gambar 1.3.

Gambar 1.2 Silinder penekan yang belum disempurnakan, dan Gambar 1.3. Silinder penekan yang telah disempurnakan

- a. Meluruskan gerakan hidrolik
- b. Menyetel alur gerakan pencekam
- c. Mengatasi untuk mengurangi getaran
- d. Mengatur ketinggian hidrolik

3. Hidraulik power unit



Gambar 1.4. Rangkaian Hydraulik Power Unit

- a. Penggantian motor hidraulik
- b. Penggantian pulley pompa
- c. Penggantian sabuk penggerak pompa hidraulik
- d. Pemasangan slang hidraulik
- e. Pengaturan penyetelan tekanan oli
- f. Pemasangan alat ukur tekanan

4. Perbaikan instalasi elektrikal pada panel



Gambar 1.5. Gambar insyalasi Elektrikal

- a. Perbaikan kebel instalasi
- b. Perbaikan kabel power

8 November 2017

5. Perbaikan panel control



Gambar 1.6. Panel control waktu, putaran, tekanan dan gerakan silinder

6. Penyempurnaan dan perbaikan konstruksi mesin FW

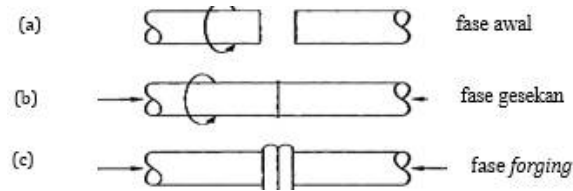


Gambar 1.7. Konstruksi Mesin Las gesek yang telah disempurnakan

PRINSIP PENGELASAN GESEK

Elmer dan Kautz, (1983), pengelasan gesek (*friction welding, FRW*) adalah proses pengelasan bahan pejal di mana panas untuk pengelasan diproduksi oleh gerak relatif dari dua permukaan yang kontak. Metode ini bergantung langsung pada konversi energi mekanik ke energi termal untuk membentuk pengelasan, tanpa aplikasi dari sumber panas lain. Dalam kondisi normal, leleh tidak terjadi pada permukaan. Gambar 2.1 menunjukkan proses pengelasan gesek, di mana benda kerja statis digesekan dengan benda kerja yang berputar di bawah tekanan konstan atau meningkat secara bertahap sampai antarmuka mencapai suhu pengelasan. Kecepatan putar, tekanan aksial, dan waktu gesek adalah variabel utama yang dikendalikan dalam rangka menghasilkan panas yang diperlukan dan tekanan untuk membentuk las. Parameter ini diatur sehingga kedua permukaan yang dipanaskan mencapai suhu tertentu dimana pengelasan dapat berlangsung. Ketika suhu leleh telah tercapai pada antarmuka, diperlukan tekanan aksial untuk menyambung antarmuka. Selama tahap terakhir dari proses pengelasan, difusi atom terjadi pada antarmuka kontak, memungkinkan untuk membentuk ikatan metalurgi antara kedua bahan.

8 November 2017



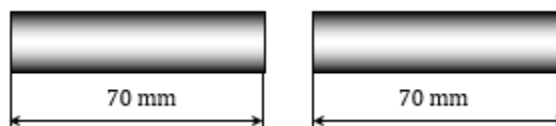
Gambar 2.1. Skema langkah pada proses pengelasan gesek, (a) fase awal, (b) fase gesekan, (c) fase *forging*

Gambar 2.1 menunjukkan langkah-langkah pada proses pengelasan gesek, (a) satu benda kerja berputar, dan lainnya diam, (b) kedua benda kerja menekan bersama, dan proses gaya tekan aksial untuk memulai proses gesekan, (c) beban *forging* diberikan untuk memberikan tekanan akhir. Pengelasan Gesek melibatkan panas melalui gesekan abrasi, deformasi plastis, dan interdifusi kimia. Tiga faktor kualitatif yang mempengaruhi kualitas pengelasan gesek:

- Kecepatan relatif (*relative velocity of the surfaces*)
- Penerapan tekanan (*applied pressure*)
- Suhu permukaan (*surface temperature*)

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, Pengujian las dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang. Bahan uji yang digunakan baja ST 40, aluminium, stainless steel dan tembaga. Ukuran benda uji $\varnothing 12,7$ mm, $\varnothing 10$ mm dan panjang 70 mm. Parameter yang digunakan adalah, waktu kontak (t)(detik), tekanan kontak (p) (bar), putaran (N)(RPM).



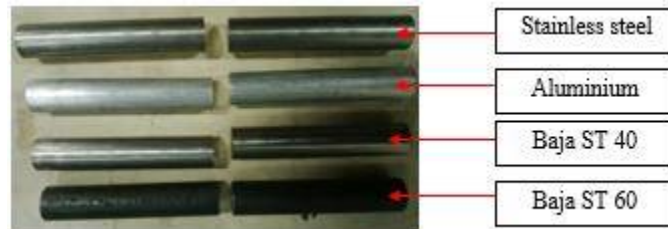
Gambar Ukuran benda uji

Data pengujian tarik dari raw material itu sendiri adalah untuk nilai tegangan (σ) dari AISI 304 sebesar 697.67 MPa sedangkan untuk ST 60 sebesar 715.85 MPa.

HASIL PENGUJIAN LAS GESEK

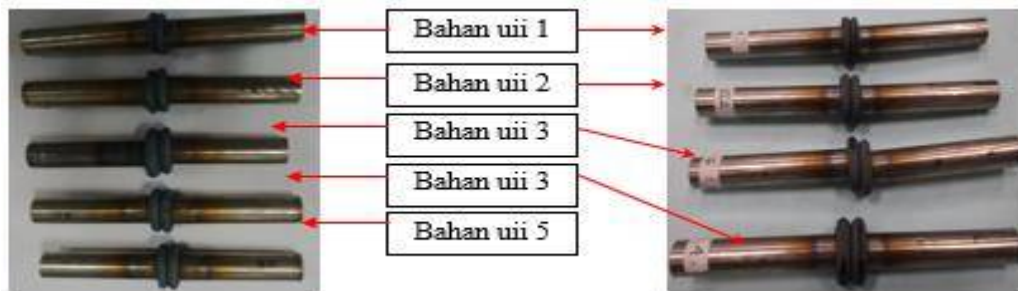
1. Bahan Uji Las Gesek

8 November 2017



Gambar Bahan Uji Las gesek

2. Hasil sambungan las gesek bahan Satinless steel 304



Bahan Uji Stainless steel Ø 12,7 mm

Bahan Uji Stainless steel Ø 10 mm

Tabel Data Pengujian Las gesek bahan stainless steel

No	Bahan Uji	d (mm)	t _r (detik)	p _r (bar)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Keterangan
1	Bahan uji 1	12,7	30	22	-	Las kropos
2	Bahan uji 2	12,7	35	22	-	Las kropos
3	Bahan uji 3	12,7	40	22	-	Las kropos
4	Bahan uji 4	12,7	45	22	-	Las kropos
5	Bahan uji 5	12,7	50	22	-	Las kropos
1	Bahan uji 1	10	20	22	530	
2	Bahan uji 2	10	25	22	567	
3	Bahan uji 3	10	30	22	520	
4	Bahan uji 4	10	40	22	623	

3. Hasil sambungan las gesek Baja ST60



Bahan Uji ST 60, Ø12,7 mm

Hasil las gesek diuji bengkok

8 November 2017

Tabel Data Pengujian Las gesek bahan Baja ST60

No	Bahan Uji	Diameter (mm)	Waktu Gesek (detik)	Tekanan Gesek (bar)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Keterangan
1	Bahan uji 1	12,7	30	22	-	keropos
2	Bahan uji 2	12,7	35	23	-	keropos
3	Bahan uji 3	12,7	40	22	-	keropos
4	Bahan uji 4	12,7	45	22	-	keropos
5	Bahan uji 5	12,7	50	22	-	keropos
6	Bahan Uji 6	10	25	22	723	
7	Bahan uji 7	10	20	22	708	
8	Bahan uji 8	10	15	22	713	
9	Bahan uji 9	10	15	22	727	
10	Bahan uji 10	10	15	22	723	

4. Hasil sambungan las gesek Aluminium dengan Tembaga

Tabel Data Pengujian Las gesek bahan Aluminium dengan Tembaga

No	Bahan Uji	Diameter (mm)	Waktu Gesek (detik)	Tekanan Gesek (bar)	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Keterangan
1	Bahan uji 1	12,7	30	23		Las baik
2	Bahan uji 2	12,7	30	22		Las baik
3	Bahan uji 3	12,7	30	22		Las baik
4	Bahan uji 4	12,7	40	22		Las baik



Gambar Sambungan las gesek Aluminium dengan Tembaga

KESIMPULAN

Penelitian performen mesin la gesek menghasilkan:

1. Spesifikasi mesin las gesek : motor 2,2 kW, Hidraulik power unit 550 Watt, tekanan gesek 25 bar, putaran 1450 RPM.
2. Kemampuan las gesek, untuk bahan uji baja diameter maksimum 10 mm.
3. Hasil sambungan las gesek bahan aluminium dengan tembaga menghasilkan sambungan las sangat baik.
4. Penyambungan las gesek bahan Stainless Steel dan baja karbon rendah dengan diameter 12 mm, pada sambungan las terjadi keropos.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryanto P., Ismail R., Jamari, Nugroho S., (2011). “Pengaruh gaya tekan, kecepatan putar dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja ST 60 terhadap kualitas sambungan las” Prosiding Seminar Nasional, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang, pp. D88-D93
- Haryanto P., Ismail R., Jamari, Nugroho S., (2011), “Pengaruh tekanan gesek, pada pengelasan gesek baja ST 60 dengan AISI 304 terhadap kualitas sambungan las”, Prosiding Seminar Nasional, Teknik Industri Universitas Gajah Mada , Yogyakarta, pp. D086-D091
- Sahin M., (2005), “An Investigation into Joining of Austenitic-Stainless Steel (AISI 304) with Friction Welding”, Industrial Lubrication Tribology, Volume 55, pp140-145
- Haryanto P., (2012), ”Rekayasa Kepala Lepas (*Tail-Stock*) Mesin Bubut Sebagai Alat Penekan Untuk Pengelasan Gesek”, Rekayasa Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, vol. 7. pp. 64-79
- Haryanto P., (2012), ”Proses Penyambungan Batang dan Kepala Baut Klem dengan Perangkat *Direct-Drive Friction Welding*”, Teknis, Politeknik Negeri Semarang, vol. 7. pp. 88-91.
- Haryanto P., dkk, (2013), Rancang Bangun Mesin Las Gesek Untuk Pengembangan Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang, Politeknik Negeri Semarang.

RANCANG BANGUN MESIN LAS GESEK UNTUK SKALA LABORATORIUM

Poedji Haryanto¹⁾, Bambang Cahyono, & Supandi

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

JL. Prof. H. Sudarto SH., Tembalang, Semarang 50275

Tlp. 024-7473417, 7466420 (hunting), Fax. 024-7472396

E-mail: phary_phary2000@yahoo.com

ABSTRAK

Las gesek (*Friction welding*) merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan pada kedua permukaan batang yang akan disambung. Gesekan yang berlangsung terus-menerus akibat tekanan pada kedua permukaan, panas akan meningkat sampai mencapai pada temperatur leleh (*melting*). Las gesek sangat baik digunakan untuk mengelas dua bahan yang berbeda (*dissimilar materials*) dan batang yang mempunyai bentuk geometris yang berbeda. Teknologi *friction welding* saat ini belum banyak dikembangkan di industri di Indonesia, hal ini di tunjukkan masih sedikitnya hasil penelitian dalam bidang teknologi las gesek. Mesin las gesek digunakan dalam proses pembuatan komponen otomotif dan komponen electrical. Penelitian merupakan pengembangan penyempurnaan mesin las gesek hasil rancang bangun penelitian sebelumnya. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan menyempurnakan mesin las gesek skala laboratorium dan menghasilkan mesinlas gesek yang siap dijual. Mesin las gesek dengan spesifikasi motor spindel 2,2 kWatt, tekanan hidraulik 25 bar, putaran 1400 RPN dikembangkan menjadi Daya motor spindel 3 kWatt, tekanan hidraulik 150 bar, motor hidraulik 1,5 kWatt. Peningkatan daya motor dan daya hidraulik akan meningkatkan kemampuan kekuatan sambungan las gesek.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda eksperimen, yaitu merancang mesin, membangun mesin dan penguji mesin. Pengujian mesin dilakukan dengan menguji kekuatan tarik dari sambungan las gasil penyambungan las gesek. Bahan uji yang digunakan baja bahan ST 60 , stainless steel 304, panjang 70 mm. Variabel yang digunakan adalah waktu kontak, tekanan gesek, kecepatan tekanan gesek.

Kata kunci: rancang-bangun, las gesek, tekanan kontak, waktu kontak, kekuatan tarik, bahan Uji

8 November 2017

PENDAHULUAN

Penelitian merupakan kegiatan ilmiah untuk mengembangkan dan menyempurnakan ilmu pengetahuan melalui penelitian. Sampai saat ini hasil penelitian sebagian besar hanya sampai batas dokumentasi riset, tidak sampai aplikasi yang langsung bermanfaat bagi masyarakat dan industri.

Peneliti melalui penelitian ini mengembangkan dan menyempurnakan mesin las gesek yang telah dihasilkan dari penelitian sebelumnya. Pengembangan dan penyempurnaan mesin las gesek yaitu meningkatkan daya motor dari 2,2 kWatt ke 3 kWatt, meningkatkan motor hidraulik 550 Watt ke 1,5 kWatt. Peningkatan daya motor spindel dan daya motor hidraulik untuk meningkatkan kekuatan hasil sambungan las dan waktu penyambungan akan lebih cepat.

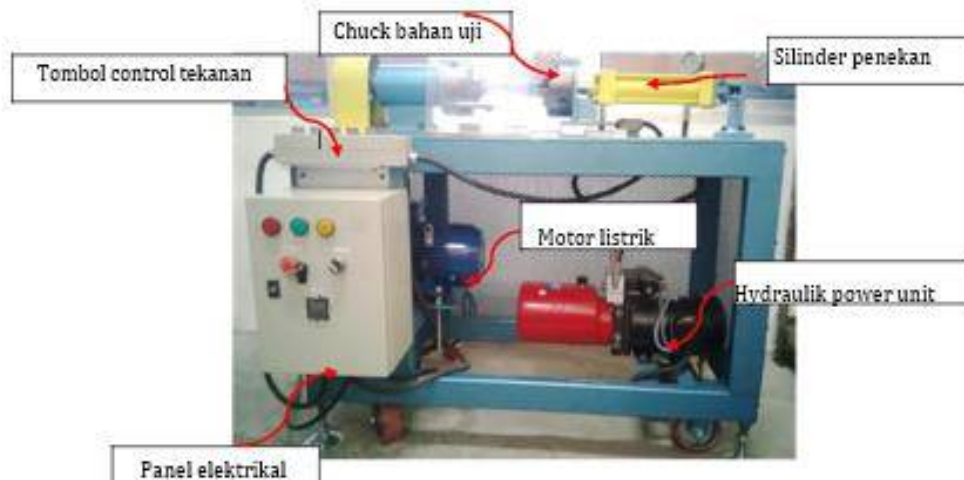
Penelitian ini tentang rancang bangun mesin las gesek untuk skala laboratorium, penelitian ini merupakan hasil pengembangan dan penyempurnaan mesin las gesek hasil penelitian sebelumnya, yaitu mesin las gesek hasil rancang bangun dengan spesifikasi motor listrik 2,2 kWatt, putaran 1500 rpm, tekanan hidraulik 25 bar.

Gambar Mesin las yang akan dikembangkan

Rancang bangun yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah mesin las gesek dengan spesifikasi Motor listrik 3 kWatt, putaran 1400 RPM, Pompa hydraulic power unit 1,5 kWatt. Secara performen mesin las gesek hasil rancang bangun ini mengalami penyempurnaan dan peningkatan spesifikasi, terutama motor penggerak utama 3 kWatt dan tekanan hydraulic mencapai 350 bar.

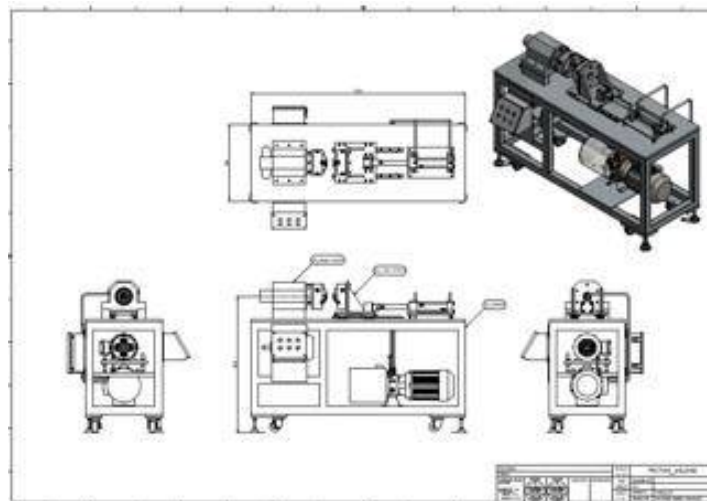
8 November 2017

Tekanan hidraulik yang besar akan menghasilkan meningkatkan kekuatan pada sambungan las karena deformasi plastis yang terjadi pada bagian bagian muka kontak, dan juga waktu pengelasan gesek akan lebih cepat.



Gambar Mesin las gesek hasil penelitian

Perbaikan dan penyempurnaan mesin las gesek ini untuk mendapatkan mesin las gesek yang dapat memenuhi kebutuhan di laboratorium, dan juga mesin las gesek ini layak untuk diproduksi dan dipasarkan. Peneliti telah menjalin mitra dengan perusahaan PT. PALTECH ASCAPINDO, CIKARANG, BEKASI yang sanggup dan bersedia untuk memproduksi mesin las gesek ini berdasarkan pesanan. Rancangan mesin yang dibuat merupakan hasil kerjasama antara peneliti dengan mitra industry.



Gambar Rancangan mesin las gesek

8 November 2017

Bagian bagian yang disempurnakan meliputi:

1. Motor penggerak utama 3 kWatt
2. Pompa hidraulik 1,5 kWatt
3. Pencekam benda uji 6 inchi
4. Kontrol waktu,
5. Kontrol tekanan
6. Tombol ON/FF

LAS GESEK

Las gesek (*Friction welding*) merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan pada kedua permukaan batang yang akan disambung. Gesekan yang berlangsung terus-menerus akibat tekanan pada kedua permukaan, panas akan meningkat sampai mencapai pada temperatur leleh (*melting*). Las gesek sangat baik digunakan untuk mengelas dua bahan yang berbeda (*dissimilar materials*) dan batang yang mempunyai bentuk geometris yang berbeda. Teknologi *friction welding* saat ini belum banyak dikembangkan di industri di Indonesia, hal ini di tunjukkan masih sedikitnya hasil penelitian dalam bidang teknologi las gesek.

Dalam gambar 1. ditunjukkan cara pengelasan dua poros. Tahapan proses adalah sebagai berikut

- (1) salah satu poros diputar tanpa bersentuhan dengan poros yang lain, dengan memutar pemegang (*rotating chuck*),
- (2) kedua poros satu sama lain disentuhkan sehingga timbul panas akibat gesekan,
- (3) putaran dihentikan, poros diberi gaya tekan aksial, dan
- (4) sambungan las terbentuk.

Gambar 1. Skema Pengelasan gesek

8 November 2017

1. METODA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metoda eksperimen yang meliputi:

1. Merancang mesin las gesek

Merancang mesin las gesek dengan spesifikasi, Motor listrik 3 kWatt, putaran 1400 RPM dan Tekanan gesek dengan hydraulic dengan pompa 1,5 kWatt.



Gambar : Motor listrik



Gambar: Hydraulic power unit

2. Membangun mesin las gesek dan enyetel kesumbuan kedua pencekam benda uji



Gambar: Menseting ketegak-lurusan



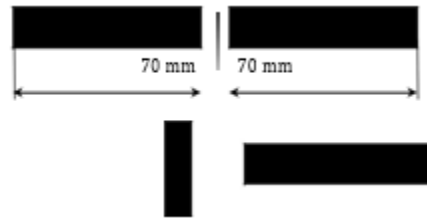
Gambar: Menseting kelurusan sumbu

Penyetingan ketegak lurus dan kesumbuan agar dapat menghasilkan sambungan las gesek lurus dan satu sumbu.

3. Menguji mesin las gesek

Mesin las gesek diuji dengan melakukan pengujian terhadap kekuatan tarik sambungan las. Bahan uji yang digunakan adalah ST 40, ST 60, Stainless Steel 304, aluminium dan tembaga dengan ukuran \varnothing 12 mm, panjang 70 mm dan \varnothing 20 mm.

8 November 2017



Gambar: Benda Uji

2. HASIL PENGUJIAN SAMBUNGAN LAS GESEK

1. Pengelasan terhadap bahan uji dengan dimensi diameter yang berbeda

Pengujian penyambungan las gesek dengan bahan uji yang mempunyai dimensi yang berbeda, bentuk batang baut dan kepala baut dan contoh bentuk katup (valve), proses las gesek sangat cocok untuk penyambungan dengan dimensi yang berbeda.

- Mengurangi penggunaan bahan
- Menyambung pada dua bahan uji yang berbeda yaitu ST 40 dengan Stainless steel
- Waktu 40 detik.



Gambar hasil las gesek

2. Pengujian Kekuatan Tarik.

Hasil pengujian pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik pada bahan ST 60 dengan variasi waktu dan tekanan gesek, putaran 1400 rpm. Batang uji mengalami patah diluar sambungan las saat diuji kekuatan tarik.

8 November 2017



Gambar. Hasil pengelasan gesek

Tabel. Data pengujian kekuatan tarik hasil pengelasan gesek pada baja ST 60

NO	d_o (mm)	A_o (mm ²)	P_f (MPa)	F_{yield} (N)	F_{maks} (N)	G_{yield} (MPa)	G_{maks} (MPa)
FS1	8.6	58.06	6.73	26600	42000	458.147	7.
FS2	8.9	62.18	8.076	27600	44000	443.873	70
FS3	8.8	60.79	9.422	27000	43200	444.152	7.
FS4	8.9	62.18	10.768	28200	45200	453.522	7.

3. KESIMPULAN

Penelitian rancang bangun mesin las gesek skala laboratorium, menghasilkan:

1. Mesin las gesek dengan spesifikasi, motor listrik 3 kWatt. Hydraulic power unit, 1,5 Watt, putaran spindle 1500 RPM
2. Sistem control waktu gesek, kekanan gesek dan ON/OFF
3. Benda uji yang dapat dilakukan pengelasan sampai diameter 12 mm
4. Mampu untuk mengelas dengan diameter dan bahan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Haryanto P., Ismail R., Jamari, Nugroho S., (2011). “Pengaruh gaya tekan, kecepatan putar dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja ST 60 terhadap kualitas sambungan las” Prosiding Seminar Nasional, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang, pp. D88-D93

Haryanto P., Ismail R., Jamari, Nugroho S., (2011), “Pengaruh tekanan gesek, pada pengelasan gesek baja ST 60 dengan AISI 304 terhadap kualitas sambungan las”, Prosiding Seminar Nasional, Teknik Industri Universitas Gajah Mada , Yogyakarta, pp. D086-D091

Sahin M., (2005), “An Investigation into Joining of Austenitic-Stainless Steel (AISI 304) with Friction Welding”, Industrial Lubrication Tribology, Volume 55, pp140-145

Haryanto P., (2012), ”Rekayasa Kepala Lepas (*Tail-Stock*) Mesin Bubut Sebagai Alat Penekan Untuk Pengelasan Gesek”, Rekayasa Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, vol. 7. pp. 64-79

Haryanto P., (2012), ”Proses Penyambungan Batang dan Kepala Baut Klem dengan Perangkat *Direct-Drive Friction Welding*”, Teknis, Politeknik Negeri Semarang, vol. 7. pp. 88-91.

Haryanto P., dkk, (2013), Rancang Bangun Mesin Las Gesek Untuk Pengembangan Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang, Politeknik Negeri

8 November 2017

Pengaruh Waktu Dan Suhu Pembuatan Karbon Aktif Dari Eceng Gondok Sebagai Upaya Pemanfaatan Gulma Dengan Suhu Tinggi Secara Pirolisis

Arief Henry Kurniawan¹, Rita Dwi Ratnani, Suwardiyono, & Imam Syafa'at

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang

*Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236

*Email : ariefhenryk@gmail.com

Abstrak

Hyacinth is an abundant weed in Indonesia and is considered a problem. A workable solution to overcome weeds caused by the rapid growth of water hyacinth is to make it as activated carbon. Activated carbon is widely used as an adsorbent in the industry. This study aims to (1) make activated carbon from the use of water hyacinth by pyrolysis without adding activator, (2) to know the effect of time variable and pyrolysis temperature on the quality of activated carbon in accordance with SII No. 0258-79. The method used is with high temperature pyrolysis. Stages of preparation of water hyacinth, pyrolysis, test of activated carbon quality. The pyrolysis process is carried out with variations of time 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 hours, temperature variation 200,300,400,500 °C. The results showed the best carbon test results at 2 hours and the temperature 500 °C. Iodine number absorption 259,26 mg / g, water content 7,52%, vapor content 41,94%, ash content 4,3%. The data obtained have met the SII standard no. 0258-79.

Keywords: activated carbon, pyrolysis, water hyacinth

1. PENDAHULUAN

Eceng gondok merupakan tumbuhan air yang dapat tumbuh dengan cepat (3% per hari) di rawa – rawa, danau, waduk, dan sungai yang alirannya tenang (Fajar Utomo,2013). Pesatnya pertumbuhan eceng gondok ini dapat mengganggu aktivitas di perairan, serta mengakibatkan penyempitan dan pendangkalan pada sungai, rawa, maupun danau.

Solusi yang dapat diterapkan pada kasus limbah eceng gondok ini adalah menjadikannya sebagai karbon aktif. Industri pembuatan karbon aktif di Indonesia telah mengalami kemajuan cukup pesat. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan pasar, baik di dalam negeri maupun untuk diekspor ke luar negeri.

8 November 2017

Hampir 70% produk karbon aktif digunakan untuk pemurnian dalam sektor minyak kelapa, farmasi dan kimia (G.Pari dan I.Sailah, 2001 dalam Pambayun, dkk 2013). Karbon aktif dapat dipergunakan untuk berbagai industri, antara lain yaitu industri obat – obatan, makanan, minuman, pengolahan air (penjernihan air), dan lain – lain. Melihat dari kegunaan karbon aktif tersebut, perlu adanya pengujian terhadap mutu karbon aktif supaya dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Menurut SII No. 0258-79, karbon aktif yang baik mempunyai persyaratan yang tercantum pada Tabel 1:

TABEL 1. Persyaratan Karbon Aktif (SII No.0258-79)

Jenis	Persyaratan
Kadar zat menguap	Maksimum 15%
Kadar air	Maksimum 10%
Kadar abu	Maksimum 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan I ₂	Minimal 20% (200 mg/g)

Pembuatan karbon aktif dapat dilakukan secara pirolisis. Pirolisis secara singkatnya dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa berhubungan dengan udara luar. Pirolisis pada umumnya diawali pada suhu 200 °C dan bertahan pada suhu sekitar 450°C – 500 °C (Sheth and Babu, 2006 dalam Danarto, dkk 2010). Pirolisis suatu biomassa akan menghasilkan tiga macam produk, yaitu produk gas, cair, dan padat (*char*) (Danarto, dkk 2010).

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat karbon aktif dari pemanfaatan eceng gondok dengan proses suhu tinggi secara pirolisis. Penelitian ini diharapkan dapat menghindari pemakaian aktivasi dengan bahan kimia yang harganya cukup mahal dan kurang baik di lingkungan, serta untuk mengetahui pengaruh variabel waktu dan suhu pirolisis karbon aktif dari eceng gondok.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah eceng gondok, natrium tiosulfat (Na₂S₂O₃), kalium iodide (KI), indikator amilum, dan aquadest.

2.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tangki pirolisis, pendingin leibig, adaptor, dan erlenmeyer. Untuk analisa uji kualitas karbon aktif, alat yang digunakan adalah buret, thermometer infrared, pengaduk, corong, labu ukur, gelas beaker, kertas saring dan statif.

8 November 2017

2.3 Metode

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Eceng gondok dibersihkan dari kotorannya, kemudian dikecilkan ukurannya dan dikeringkan dibawah sinar matahari.

2.3.2 Tahapan Pirolisis

Eceng gondok yang telah kering dimasukkan ke dalam tangki pirolisis. Tangki pirolisis kemudian dirangkai dengan pendingin leibig dan Erlenmeyer sebagai penampung asap cair. Alirkan air pendingin, kemudian nyalakan api. Tempurung kelapa dipirolisis dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 jam dan variasi suhu 200, 300, 400 dan 500 °C.

2.3.3 Analisa Kualitas Karbon Aktif

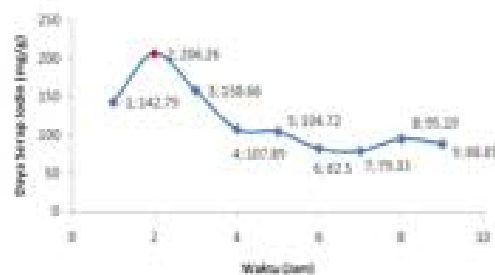
Analisa kualitas karbon aktif penelitian ini meliputi analisa kadar air, kadar zat menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, dan daya serap terhadap larutan iodin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Waktu Terbaik Proses Pirolisis

Pengaruh waktu pirolisis terhadap analisa mutu karbon aktif eceng gondok disajikan dalam Gambar 1 sampai Gambar 5.

Pengaruh Waktu Terhadap Daya Serap Larutan Iodin



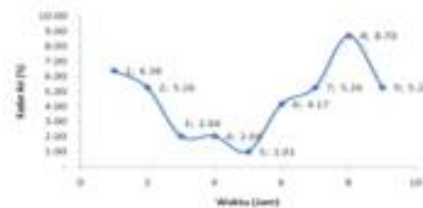
GAMBAR 1. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Daya Serap Iodin

Gambar 1. menunjukkan bahwa pembuatan karbon aktif dengan metode pirolisis mempunyai daya serap terhadap iodine tertinggi pada waktu pirolisis 2 jam dengan angka iod sebesar 206,26 mg/g. Pada waktu berikutnya daya serap terhadap iodine cenderung menurun hanya di beberapa titik yang mengalami sedikit kenaikan. Penurunan ini disebabkan saat proses pirolisis, energy panas mendorong terjadinya reaksi oksidasi.

8 November 2017

Oleh karena itu, semakin lama waktu proses tersebut maka zat volatil dan karbon akan semakin berkurang dan meninggalkan residu yang semakin banyak. Tingginya residu ini akan mengurangi kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap iodine (Ikawati dan Melati, 2009). Hasil pirolisis dalam penelitian ini sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan batas minimal 20% (200 mg/gr).

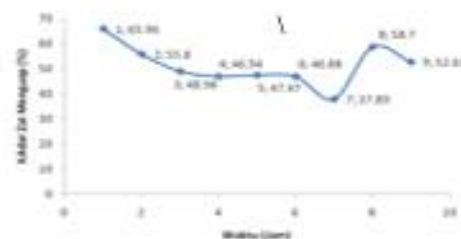
Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Air Karbon Aktif



GAMBAR 2. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Air Karbon Aktif

Pada Gambar 2. menunjukkan bahwa semakin lama pirolisis maka kadar air akan semakin menurun. Namun pada variabel waktu 6 jam kadar air kembali meningkat hingga variabel waktu 8 jam. Kemudian pada variabel waktu ke 9 jam kadar air kembali menurun. Hasil penelitian ini juga pernah diperoleh Satriyani Siahaan dkk (2013) yang dilakukan pada karbon dari sekam padi, selain itu hasil penelitian seperti ini juga pernah diperoleh Hartanto dan Ratnawati (2010) yang dilakukan pada tempurung kelapa sawit. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu pirolisis, maka pori – pori dari karbon aktif akan makin terbuka, sehingga pada saat pemindahan karbon aktif dari oven ke desikator dan alat penimbangan terjadi kontak langsung antara karbon aktif yang bersifat higroskopis dengan udara sehingga karbon aktif banyak menyerap uap air. Walaupun kadar air meningkat di beberapa titik, hasil penelitian ini menunjukkan kadar air maksimal yang diperoleh adalah 8,70%, sehingga karbon aktif penelitian ini memenuhi standar SII No.0258-79, yaitu dengan batas maksimal 10%.

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Zat Menguap

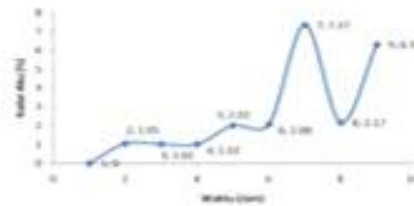


GAMBAR 3. Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Zat Menguap

8 November 2017

Gambar 3. menunjukkan pengaruh waktu pirolisis karbon aktif eceng gondok terhadap kadar zat menguap. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pirolisis maka kadar zat menguapnya akan semakin menurun. Hanya di variabel waktu 8 jam yang mengalami peningkatan. Hasil penelitian seperti ini juga pernah didapatkan oleh Wibowo dkk, (2009) yang dilakukan pada tempurung biji nyamplung, serta penelitian Siahaan dkk (2013) yang dilakukan pada sekam padi. Kadar zat terbang (zat mudah menguap) yang tinggi menunjukkan bahwa permukaan karbon aktif aktif mengandung zat terbang yang berasal dari hasil interaksi antara karbon dengan uap air (Pari, 2004 dalam Wibowo dkk, 2009). Hal tersebut dapat mengurangi daya serapnya terhadap gas atau larutan. Kadar zat mudah menguap pada karbon aktif variable waktu penelitian ini adalah antara 37,89-65,96% sehingga tidak ada yang memenuhi SII No.0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Waktu Pirolisis Terhadap Kadar Abu



GAMBAR 4. Pengaruh Waktu Terhadap Kadar Abu

Gambar 4. menunjukkan grafik pengaruh waktu terhadap kadar abu dalam karbon aktif eceng gondok. Abu merupakan oksida oksida logam yang tidak dapat menguap pada saat proses karbonasi. Kandungan abu dalam karbon aktif dapat mempengaruhi kualitas karbon aktif (Scroder E, 2006). Semakin lama proses karbonasi, maka kadar abu yang di hasilkan juga semakin meningkat. Hal ini di karenakan semakin lama proses karbonasi berarti semakin lama pula proses gasifikasi karbon yang memicu penghilangan dan teroksidasinya zat volatile beserta karbon (Ikatawati dan Melati, 2009). Grafik hasil penelitian ini sesuai dengan teori yang dikemukakan. Dari grafik tersebut menunjukkan semakin lama proses karbonasi kadar abu cenderung semakin meningkat. Hanya di beberapa titik saja yang mengalami penurunan. Hasil perhitungan kadar abu penelitian ini ada beberapa yang tidak sesuai dengan SII No.0258-79, yaitu pada variabel waktu karbonasi 7 jam dan 9 jam yang kadar abunya melebihi batas kadar abu maksimum 2,5%.

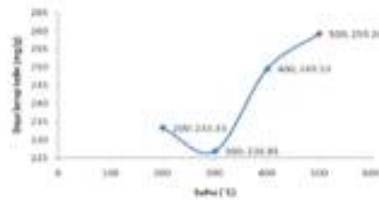
8 November 2017

Selain variabel waktu tersebut sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan kadar abu dibawah 2,5%, yaitu berkisar antara 0 – 2,18%

3.2 Suhu Terbaik Proses Pirolisis

Pada variabel suhu digunakan waktu pirolisis 2 jam. Pengaruh suhu pirolisis terhadap uji mutu karbon aktif disajikan dalam Gambar 6 sampai Gambar 9.

Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Daya Serap Iodin

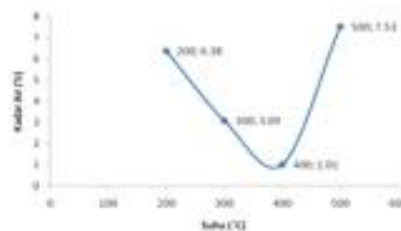


GAMBAR 6. Pengaruh Suhu Terhadap Daya Serap Iodin

Gambar 6. menunjukkan bahwa pembuatan karbon aktif dengan metode pirolisis mempunyai daya serap terhadap iodine tertinggi pada suhu pirolisis 500°C dengan daya serap iodin 259,26 mg/g. Namun pada suhu 200° C mengalami penurunan. Pada penelitian ini daya serap karbon aktif cenderung meningkat hingga suhu 500°C. Peningkatan suhu akan memperluas permukaan pori karbon aktif. Semakin luas pori pori yang terdapat di karbon aktif, maka semakin besar kemampuan adsorpsi karbon aktif (S.Jamilatun dan Martono S, 2014).

Hasil penelitian ini sudah memenuhi SII No.0258-79 dengan batas minimal 20% (200 mg/gr) (Ikawati dan Melati, 2009).

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air

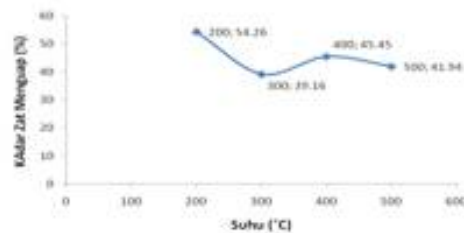


GAMBAR 7. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air

8 November 2017

Gambar 7. menunjukkan grafik hasil pengujian kadar air karbon aktif eceng gondok. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, kadar air semakin menurun. Dikarenakan semakin tinggi suhu, kadar air dalam karbon aktif semakin banyak yang teruapkan. Namun pada suhu 500°C kadar air kembali meningkat. Hal ini bisa disebabkan karena biasanya tar dan zat volatile (termasuk air) masih ada setelah dilakukan proses pirolisis, hanya saja jumlahnya berkurang daripada sebelum dipirolisis (Abu Achmad dkk, 2012). Hasil penelitian ini menunjukkan kadar maksimal kadar air yang diperoleh sebesar 7,53%, sehingga karbon aktif ini memenuhi standar SII No.0258-79.

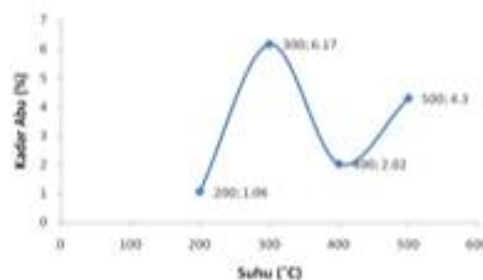
Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap



GAMBAR 8. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Zat Menguap

Gambar 8. menunjukkan grafik pengaruh suhu pirolisis karbon aktif eceng gondok terhadap kadar zat menguap. Peningkatan suhu pirolisis dapat mengurangi kadar zat menguap pada karbon aktif (Siahaan dkk, 2013). Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin tinggi suhu kadar zat menguapnya cenderung menurun walaupun ada peningkatan di suhu tertentu. Hasil pengujian kadar zat menguap karbon aktif eceng gondok ini antara 39,16-54,26% sehingga belum memenuhi SII 0258-79 yaitu maksimal 15%.

Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu



GAMBAR 9. Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Abu

8 November 2017

Gambar 9. menunjukkan grafik hasil pengujian kadar abu karbon aktif eceng gondok dengan variabel suhu. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, kadar abu cenderung semakin meningkat. Peningkatan ini disebabkan kenaikan suhu pirolisis akan memicu teroksidasinya sebagian zat volatile termasuk karbon. Sedangkan abu tidak ikut teroksidasi karena abu bukan merupakan zat volatile (Ikawati dan Melati, 2009). Walaupun ada penurunan titik tertentu, kadar abu cenderung mengalami peningkatan seiring kenaikan suhu. Hasil pengujian kadar abu karbon aktif eceng gondok ini memenuhi SII No.0258-79 yaitu kurang dari 2,5% pada suhu 200 dan 400°C.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa waktu dan suhu pirolisis berpengaruh pada kualitas karbon aktif eceng gondok. Hasil pirolisis terbaik didapatkan pada waktu 2 jam dan suhu 500 °C, yaitu daya serap iodine 259,26 mg/g, kadar air 7,52 %, kadar zat mudah menguap 41,94 %, kadar abu 4,3 %.

8 November 2017

REFERENSI

1. B, Abu Achmad., Diah Susanti, dan Hariyati Purwaningsih, (2012), Pengaruh Temperatur Karbonisasi dan Konsentrasi Zink Klorida ($ZnCl_2$) Terhadap Luas Permukaan Karbon Aktif Eceng Gondok, ITS-paper-27001120000622.
2. Danarto, Y.C., Prasetyo Budi Utomo, Ferry Sasmita, (2010), Pirolisis Limbah Serbuk Kayu dengan Katalisator Zeolit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, ISSN 1693-4393
3. Fajar Utomo, Arief., dan Nungki Primastuti, (2013), Pemanfaatan Limbah Furniture Enceng Gondok (*Echichornia crassipes*) di Koen Gallery Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Briket Bioarang, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2. No. 2. Hal 220-225.
4. Hartanto, Singgih dan Ratnawati, (2010), Pembuatan Karbon aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 12, No. 1, hal : 12 – 16. ISSN : 1411-1098. Program Studi Teknik Kimia, FTI-ITI. Tangerang.
5. Ikawati dan Melati, (2009), Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati, *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia (SNTKI)*, ISBN 978-979-98300-1-2.
6. Jamilatun, Siti., dan Martono Setyawan, (2014), Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair, *Spektrum Industri*, Vol. 12, No.1, 1-112, ISSN : 1963-6590.
7. Pambayun, Gilar S, Remigius Y.E Yulianto, M. Rachimoellah, dan Endah M.M. Putri, (2013), Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa dengan Activator $ZnCl_2$ dan Na_2CO_3 sebagai Adsorben untuk Mengurangi Kadar Fenol dalam Air Limbah, *Journal Teknik POMITS*, Vol.2, No.1, ISSN: 2337-3539
8. Pari, G dan I.Sailah, (2001), Pembuatan Arang Aktif dari Sabut Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif NH_4HCO_3 dan $(NH_4)_2CO_3$ Dosis Rendah, Bogor.
9. Scroder Eliabeth, (2006), Experiment on the Generation of activated carbon from Biomass, Institute for Nuclear and energy Technologies Forschungs Karlsruhe, hal 106-111, Germany.

8 November 2017

10. Siahaan, Satriyani., Meliya Hutapea, dan Rosdanelli Hasibuan, (2013), Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi, *Journal Teknik Kimia USU*, Vol.2, No.1
11. Wibowo, Santiyo., Wasrin Syafii, dan Gustan Pari, (2009), Karakteristik Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung (*Colophyllum inophyllum Linn*), Fakultas Kehutanan, IPB, Bogor.

8 November 2017

Analisis Impak Dan Ricochet Peluru Frangible Cu-10wt%Sn Dengan Metode Meshless Smoothed Particle Hydrodynamics

Mas Irfan P. Hidayat^{1, a)}, Widyastuti^{1, b)}, & Peniel Simaremare^{1, c)}

¹Departemen Teknik Material, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

^{a)}irfan@mat-eng.its.ac.id ^{b)}wiwid@mat-eng.its.ac.id ^{c)}peniel.andy@gmail.com

Abstract.

In this paper, simulation of impact ballistic of Cu-10wt%Sn frangible bullet using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method is presented. The frangible bullet is impacted against a hard, cylindrical stainless steel target. The bullet is modeled by PC3D particle element type based on SPH formulation in Abaqus, while explicit quadratic solid element type is assigned to the target. Effect of variability of the frangible bullet material properties due to the variation of sintering temperature in its manufacturing process to the bullet frangibility factor (FF) is investigated numerically. In addition, the bullet kinetic energy during impact as well as its ricochet and fragmentation are also examined and simulated. The results obtained by the SPH simulation are presented and discussed in comparison to those obtained from experimentations.

1. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara di dunia yang cukup mumpuni dalam penguasaan teknologi industri pertahanan. Peningkatan kapasitas pengembangan industri pertahanan di Indonesia dilakukan terutama oleh badan usaha milik negara maupun melalui kerjasama riset dengan perguruan-perguruan tinggi di Indonesia.

Salah satu produk industri pertahanan Indonesia adalah peluru, yang telah mampu dibuat dalam berbagai ukuran kaliber. Dewasa ini, pengembangan tipe peluru lain yang juga menarik perhatian adalah peluru yang bebas dari timbal (Pb) maupun bersifat mudah pecah (frangible), lebih dikenal sebagai green bullet. Kelebihan frangible bullet, selain ramah lingkungan, juga mampu meminimalkan efek ricochet atau back splash saat mengenai benda keras [1-4], sehingga sangat sesuai pula digunakan selama latihan menembak.

8 November 2017

Peluru frangible diproduksi melalui teknik metalurgi serbuk [5, 6], dimana karakterisasi mikrostruktur dan perilaku mekaniknya diteliti dengan detail oleh, salah satunya, Banovic di [7]. Didapatkan bahwa sifat mekanik dari peluru frangible konsisten dari satu peluru ke peluru lainnya, terlepas dari ketidakseragaman dari struktur mikronya. Selain itu, respons mekaniknya bisa direpresentasikan secara seragam di dalam model finite element (FE) yang dipakai untuk memprediksi performa impact dari peluru frangible tersebut terhadap armor pelindung badan. Dalam [8], kriteria teoritis untuk evaluasi frangibility factor (FF) untuk peluru frangible dibahas oleh Rydlo.

Pemodelan impact balistik dari peluru biasa telah banyak dilaporkan, diantaranya, di [9-11], umumnya dengan model-model FE. Untuk peluru frangible, pendekatan pemodelan dengan FEM telah dilakukan oleh Amarullah dkk [12]. Namun demikian, pola hamburan tidak dapat ditunjukkan sepenuhnya disebabkan oleh batasan dari algoritma material deletion dari program eksplisit FE yang dipakai. Dalam makalah ini, simulasi impact dan ricochet dari peluru frangible terbuat dari Cu-10wt%Sn dengan metode smoothed particle hydrodynamics (SPH) dipaparkan. Berbeda dengan metode mesh, SPH tergolong metode partikel [13-15], sehingga lebih sesuai untuk mempelajari impact dan ricochet dari peluru frangible. Besaran FF beserta efek ricochet dan pola hamburan dari peluru frangible yang didapat dianalisa dan dibahas lebih lanjut di dalam makalah ini.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Sebelumnya, peluru frangible telah diproduksi dengan teknik metalurgi serbuk [6]. Variasi optimum dari variabel-variabel tekanan kompaksi, temperatur sintering dan holding time terkait nilai FF peluru frangible juga telah diteliti, experimental maupun numerikal [16, 17]. Nilai FF dianalisa terhadap variasi temperatur sintering mulai dari 200 hingga 600 °C, seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

8 November 2017

Tabel 1. Data Eksperimental Peluru Frangible [16]

Temperatur Sintering (°C)	Modulus Elastisitas (MPa)	Massa Rata-Rata (kg)	Batas Energi Kinetik-Ek _{aw} (J)	Batas Energi Kinetik-Analitis (J)
200	54383,90	0,006120	39,56	39,56
300	57276,86	0,006114	54,80	54,89
400	61270,76	0,006112	86,28	86,28
500	67157,48	0,006133	161,96	161,96
600	76597,16	0,006165	355,53	367,22

Dalam pengujian balistiknya, baja ST37 digunakan sebagai material target sesuai standar uji balistik dari PT Pindad. Namun karena di dunia industri baja ini sudah jarang digunakan (standar DIN), maka material dari standar ASTM A36 Mild Steel yang ekuivalen dengan baja ST37 digunakan sebagai pengganti. Sifat fisik dan mekanik dari baja tersebut diberikan dalam Tabel 2.

Table 2. Sifat Fisik dan Mekanik Baja ASTM A36 Mild Steel

Sifat	Nilai
Densitas	7,85 gr/m ³
Yield Strength	250 MPa
Modulus Young	200 GPa
Poisson Ratio	0,26

Properti mekanik di atas dipakai di dalam pemodelan dan simulasi peluru frangible dengan metode SPH, sementara data-data eksperimen [16] berguna sebagai basis perbandingan dan analisa.

2.2 Metode

2.2.1. Penentuan Batas Energi Kinetik

Kondisi impak merupakan syarat yang dibutuhkan agar peluru pecah dan terfragmentasi. Dalam hal ini dikenal kecepatan limit (V_{lim}), yaitu batas kecepatan maksimal balistik sebelum peluru terpecah menjadi bagian kecil. Peluru frangible harus melewati batas V_{lim} agar dapat terfragmentasi, yaitu:

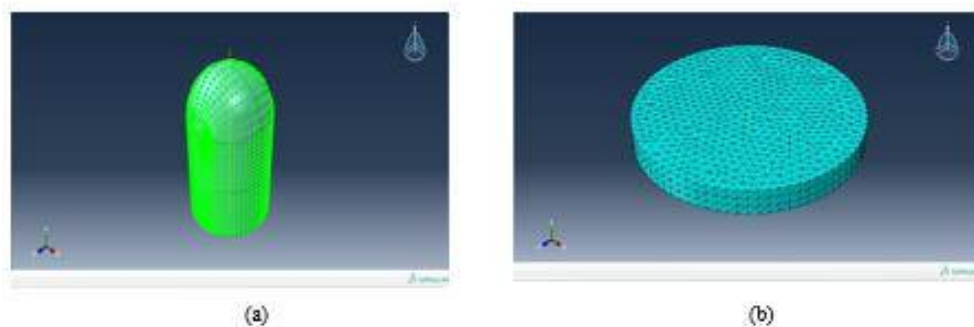
$$v_{lim} = \frac{\epsilon_{d,max}}{\rho l} 2K \sqrt{m_p \left(\frac{dl}{3K\pi d^2} + \frac{1}{c} \right)} \quad (1)$$

8 November 2017

dimana: v_{lim} adalah batas kecepatan balistik (m/s), $\varepsilon_{d,max}$ maximum relative compression, ρ densitas peluru (gr/cm^3), K modulus elastisitas (GPa), l panjang peluru (m), m_p massa peluru (m), d diameter peluru (m) dan c kekakuan target (N/m). Nilai batas energi kinetik dari hasil analitik juga dicantumkan dalam Tabel 1.

2.2.2. Diskritisasi Peluru dan Target

Dalam simulasi SPH, peluru frangible dan target menggunakan model material solid deformable, dengan tipe element PC3D untuk node SPH [15]. Jumlah node untuk peluru frangible adalah 8148 node. Target dimeshing dengan tipe element explicit quadratic. Model geometri peluru dan target sebagaimana Gambar 1 dan 2. Kecepatan awal peluru yang digunakan dalam simulasi adalah 345.17 m/s dengan jarak tembak 5 mm (0.005 m).



GAMBAR 1. Geometri peluru (a) dan meshing target (b) dengan model SPH.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Kecepatan, Energi Kinetik dan Nilai FF Peluru Frangible

Kecepatan peluru mengalami penurunan saat mengenai objek/target tembak. Kecepatan peluru pada pemodelan berbeda dengan eksperimen karena ada beberapa faktor pada eksperimen namun tidak diperhitungkan/diabaikan pada pemodelan, yaitu gesekan dengan udara, kelembaban udara, kecepatan serta arah angin. Dalam [16], pengujian menggunakan peluru kaliber 9 mm dengan jarak tembak 2 meter dan kecepatan peluru sebesar 351 m/s .

Dari simulasi, nilai energi kinetik dari setiap peluru frangible berdasarkan hasil sintering masing-masing peluru didapatkan. Selanjutnya, energi kinetik ini digunakan untuk menghitung nilai FF, batas energi kinetik, dan kecepatan peluru setelah bertumbukan.

8 November 2017

Persamaan untuk menghitung kecepatan sebagai berikut

$$v = \sqrt{\frac{2Ek}{m}} \quad (2)$$

Perhitungan FF menggunakan persamaan berikut:

$$FF = \frac{Ek}{Ek_{lim}} \quad (3)$$

Kemudian perbandingan dengan hasil dari perhitungan analitis dan eksperimen sebelumnya dilakukan. Komparasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5. Adapun nilai batas energi kinetik diberikan di Tabel 6.

Tabel 4. Perbandingan energi kinetik, kecepatan peluru setelah tumbukan dengan plat baja dari hasil simulasi, eksperimen dan analitis

Temperatur Sintering (°C)	Kecepatan Setelah Bertumbukan (m/s)	Energi Kinetik (J) Simulasi	Energi Kinetik (J) Eksperimen	Energi Kinetik (J) Analitis	Error Ek terhadap eksperimen (%)	Error Ek terhadap analitis (%)
200	341,10	357,01	368,79	364,55	3,19	2,06
300	332,51	338,21	368,34	364,20	8,17	7,13
400	326,11	325,78	368,21	364,06	11,5	10,51
500	327,54	329,39	368,73	365,33	10,6	9,83
600	342,69	362,06	371,31	367,22	2,49	1,40

Tabel 5. Perbandingan nilai FF peluru frangible dari hasil simulasi, eksperimen dan analitis

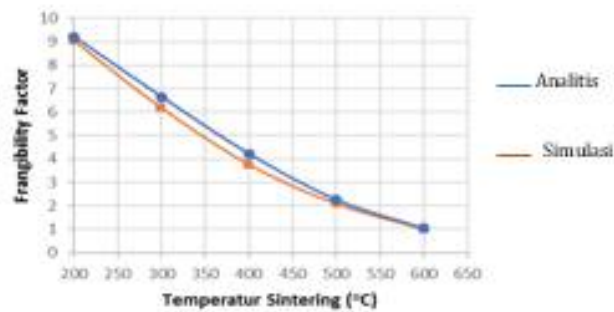
Temperatur Sintering (°C)	Frangibility Factor (FF)			Error (%) terhadap eksperimen	Error (%) terhadap analitis
	Hasil Simulasi	Hasil Eksperimen	Hasil Analitis		
200	9,02	9,34	9,21	3,42	2,10
300	6,16	6,74	6,65	8,60	7,36
400	3,76	4,29	4,22	12,35	10,90
500	2,09	2,28	2,26	8,33	7,52
600	1,01	1,05	1,04	3,81	2,88

Tabel 6. Perbandingan batas energi kinetik hasil simulasi dengan analitis

Temperatur Sintering (°C)	Batas Energi Kinetik (J)		Error (%)
	Hasil Simulasi	Hasil Analitis	
200	39,55	39,56	0,02
300	54,87	54,89	0,03
400	86,43	86,28	0,17
500	157,41	161,96	2,21
600	358,41	367,22	2,40

8 November 2017

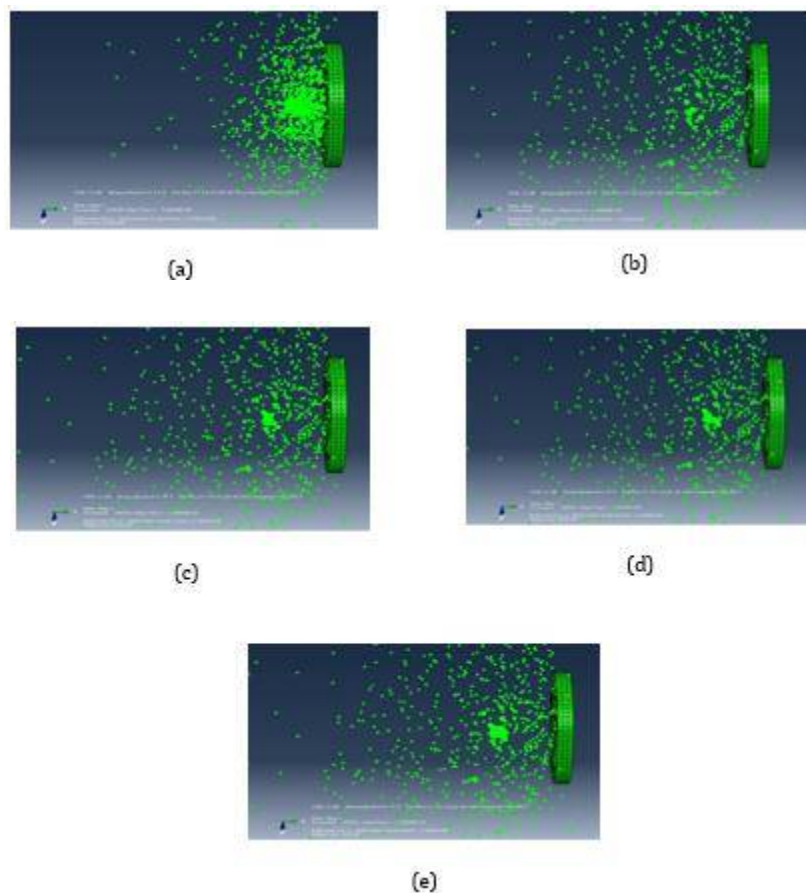
Perbandingan nilai FF juga ditunjukkan dalam Gambar 2 berikut ini.



GAMBAR 2. Kurva perbandingan FF hasil simulasi dengan analitis.

3.2 Pola Hamburan (Ricochet)

Gambar 5 menunjukkan hamburan peluru frangible untuk peluru dengan sifat material dari hasil sintering dengan temperatur masing-masing 200, 300, 400, 500 dan 600 oC.



GAMBAR 3. Fragmentasi dan hamburan peluru frangible terkait dengan temperatur sintering:

(a) 200, (b) 300, (c) 400, (d) 500, dan (e) 600°C.

8 November 2017

Berdasarkan hasil simulasi, peluru pertama kali terfragmentasi pada waktu 0.0070 detik. Sesaat ebelum 0.0070 detik peluru sudah menyentuh permukaan target, namun belum mulai terfragmentasi. Dari hasil eksperimen, ukuran fragmentasi rata-rata adalah sekitar 5 mm. Sedangkan ukuran fragmentasi hasil simulasi terlihat tidak seragam, bergantung ukuran jumlah node untuk peluru dan meshing untuk target, maupun partikel yang dihamburkan. Belum ada standar mengenai jumlah node untuk digunakan dalam simulasi peluru frangible. Dalam simulasi ini, jumlah node sebanyak 8148 pada peluru frangible, dengan volume peluru sebesar 5.243,02 mm³, sehingga perbandingan volume dengan jumlah node sebesar 0,64 mm³.

Dari hasil-hasil di atas terlihat bahwa nilai FF terbesar adalah milik peluru sintering 200°C, dan yang terendah adalah milik peluru sintering 600°C. Sehingga, nilai FF terbaik adalah milik peluru sintering 200°C. Dengan semakin meningkatnya temperatur sintering, modulus elastisitas material menjadi semakin besar. Dibuktikan dalam eksperimen bahwa ukuran fragmen peluru frangible Cu-10wt%Sn semakin besar pada temperatur lebih tinggi. Ditunjukkan juga disini bahwa semakin tinggi temperatur sintering peluru frangible, nilai FF semakin menurun akibat nilai modulus elastisitas yang meningkat. Fenomena ini juga ditunjukkan dalam pola-pola hamburan dari simulasi di atas. Peluru dengan temperatur sintering 200°C memiliki ukuran fragmen lebih kecil dengan pola hamburan relatif seragam dan dengan nilai FF terbesar, sehingga paling sesuai sebagai peluru frangible.

4. KESIMPULAN

Analisa dan simulasi impak dan ricochet peluru frangible Cu-10wt%Sn dibahas dalam makalah ini. Didapat bahwa hasil simulasi bersesuaian dengan baik dengan hasil yang didapat dari perhitungan analitis maupun eksperimen. Pola hamburan dapat ditunjukkan dengan simulasi SPH. Nilai FF terbaik ditunjukkan pada peluru dengan sifat material yang didapat dari sintering dengan temperatur 200 °C, yaitu sebesar 9,02 dan 9,34 masing-masing hasil simulasi dan eksperimen, dengan error sebesar 3,42%.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini didanai oleh skema penelitian lab based education (LBE) ITS No: 829/PKS/ITS/2017. Grant yang diterima sangatlah dihargai.

8 November 2017

REFERENSI

- Benini, J.C. 2001. Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Jonas Zukas, Theodore Nicholas, Hallock Swift, Longin Greszczuk, Donald Curran. *Impact Dynamics*. Malabar : Krieger Publishing Company, 1992. 0- 89464-661-3
- Mikko, D., Michael K. dan Jerry M.. 2008. Frangible Bullets, Dynamic Research Technolgies. AFTE Journal-- Volume 40 Number 1—Winter 2008
- Hansen, R.D. 2008. Bullet Composition. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 7,392,746 B2
- Martinez, C. 2013. Frangible Bullets and Its Manufacturing Method. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,365,672 B2
- Widyastuti, Vicko GA, Hosta Ardhyanta and Rochman Rochiem (2015). Study of Frangible CuSn Composite by Powder Metallurgy Method, *Advanced Materials Research*, Vol 1112, pp. 497-501.
- Banovic, S.W. 2007. Microstrutural Characterization and Mechanical Behavior of Cu-Sn Frangible Bullets. *Materials Science and Engineering A* 460-461. Pp. 428-435
- Rydlo, M. 2010. —Theoretical Criterion for Evaluation of the Frangibility Factor. *Advances in Military Technology* Vol.5, No. 2
- Mansur, A., and Nganbe, M. (2015). Assessment of Three Finte Element Approaches for Modelling the Ballistic Impact Failure on Metal Plates. *Journal of Materials Engineering and Performance* Vol 24, 1322-1331.
- Narayanamurthy, V., Rao, C. L., & Rao, B. (2014). Numerical Simulation of Ballistic Impact on Armour Plate with a Simple Plasticity Model. *Defence Science Journal* Vol 64, 55-61.
- Panglevie, R., Noerochiem, L. and Hidayat, M.I.P (2015). Pemodelan Pengaruh Arah Serat Terhadap Kekuatan Impak Balistik Komposit E-Glass/Isophthalic Polyester. *Jurnal Teknik ITS* Vol 1, 1-6.
- Amarullah, K.A.E., Hidayat, M.I.P., dan Widyastuti (2017). Analisa Numerikal Balistik Impak Peluru *Frangible* Dengan Metode Elemen Hingga. Laporan TA ITS
- Lucy, L. B., 1977. A Numerical Approach to the Testing of the Fission Hypothesis. *Astron. J.*, 82(12), pp. 1013–1024.

8 November 2017

Gingold, R. A., and Monaghan, J. J., 1977. Smoothed Particle Hydrodynamics: Theory and Application to Non-Spherical Stars. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 415 181(3), pp. 375–389. 416

CAE, Abaqus Team. 2005. *Abaqus Handbook for User*. USA : Dassaults Systems Simulia

Firmansyah, K. M. (2015). Pengaruh Temperatur Sintering Metode Metalurgi Serbuk Terhadap Frangibility dan Performa Balistik Peluru Frangible Komposit Cu-10%wtSn. *Jurnal Teknik ITS*, 1-6.

Damayanti, M.K., Widyastuti dan Hidayat, M.I.P (2017). Desain Parameter Eksperimen Untuk Optimasi Nilai Frangibility Factor Material Komposit Dengan Metode Taguchi dan Neural Network. Laporan TA ITS

8 November 2017

Proses Daur Ulang Limbah Kaleng Aluminium Dengan Metode Salt Fluxing

Tiara Triana^{1, a)}, Andinnie Juniarsih^{2, b)}, & Nova Dwi Prihadi^{3, c)}

¹Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.

²Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon .

³Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.

a) tiara_triana@untirta.ac.id b) vdnieus@gmail.com c) ndprihadi@gmail.com

Abstract

Requirement of aluminum increases each year. Amount of this requirement is not accompanied by aluminum production. Therefore, recycling of aluminum waste material is the solution to occupy aluminium requirement. Recycling products of aluminum that have been used are from beverage cans. The recycling process conducted by electrical induction furnace to remelt the materials with addition of flux in order to increase aluminum content and decrease the amount of impurities. The impurities contained in cans are Mg, Fe, Si, Zn and Cu. Remelting process conducted at 750, 800 and 850°C by adding flux mixture of NaCl and KCl (1:1) using three variables of flux addition (5, 10 and 15 wt-%). XRF analysis is used to analyze aluminium and impurities content. The result showed that recycling process with addition of flux was effective only to decrease magnesium content from 2.8% to 1% The most effective temperature process obtained at 800°C. SEM-EDS analysis indicate the porosity are the location of solidification of last solute-rich liquid. The most effective amount of flux addition were obtained at 10%. The highest aluminum extracted were found at 800°C of melting temperature with 10% of flux addition. Aluminum content increased up to 97,2%, meanwhile the magnesium content were declined down to 1%.

Keywords: Aluminium Recycling, Aluminum processing, Salt Fluxing.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Aluminium adalah salah satu logam yang banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan sehari – hari manusia. Kebutuhan aluminium untuk industri di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 800 ribu ton/tahun, sedangkan jumlah yang bisa dipenuhi oleh industri penghasil aluminium primer di Indonesia hanya sekitar 260 ribu ton per tahun^[1]. Salah satu industri yang menggunakan bahan baku aluminium adalah industri otomotif terkait dengan sifat aluminium yang ringan, tahan terhadap korosi, dan kekuatan yang baik. Kebutuhan casting komponen otomotif berbahan dasar aluminium mencapai 120 ribu ton/tahun, tetapi hanya separuh dari jumlah tersebut yang mampu dipenuhi oleh industri dalam negeri. Oleh karena itu, sebagian besar kebutuhan aluminium nasional masih harus dipenuhi oleh aluminium impor dari negara lain seperti Australia dan Cina^[1].

Alternatif yang bisa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan aluminium dalam negeri adalah dengan mendaur ulang *scrap* berbahan dasar aluminium. Salah satu proses yang dapat dilakukan adalah peleburan ulang (*remelting*) dengan menambahkan *flux*. Metode daur ulang limbah aluminium dilakukan dengan cara memanaskan limbah aluminium hingga temperatur leburnya, kemudian dilakukan penambahan garam berupa campuran antara NaCl dan KCl sebagai *flux* yang berfungsi untuk mengikat pengotor yang berasal dari limbah aluminium menjadi *dross*. Selain itu, *flux* juga dapat membentuk lapisan protektif diantara leburan dan udara selama proses peleburan sehingga dapat mengurangi terjadinya oksidasi pada saat proses peleburan berlangsung. Proses daur ulang *scrap* berbahan dasar aluminium dengan penambahan *flux* ini bertujuan untuk meningkatkan kadar aluminium dan menekan kadar pengotornya, seperti Mg, Zn, Fe, Cu, dll sehingga dapat memenuhi standar produk material berbahan dasar aluminium yang digunakan untuk otomotif salah satunya adalah aluminium 6061.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Proses daur ulang limbah aluminium yang digunakan pada penelitian ini berasal berasal dari limbah kaleng minuman. Adapun komposisi kimia dari limbah kaleng minuman diperoleh dari hasil pengujian menggunakan *X-Ray Fluoresence* tipe ARL OPTIMX model WDXRF *Spectrometer* seperti pada **Tabel 1** berikut ini:

8 November 2017

Tabel 1 Hasil Pengujian XRF *Scrap* Kaleng Minuman

Cu (%)	Fe (%)	Si (%)	Zn (%)	Mg (%)	Al (%)
0,1722	0,2942	0,1663	0,0554	2,8015	95,665

Flux berupa NaCl dan KCl ditambahkan pada saat proses peleburan dengan perbandingan 1:1 dengan variasi jumlah penambahan antara lain 5, 10, dan 15%.

2.2 Metode

Proses diawali dengan pemotongan dan *decoating* sampel material limbah aluminium pada temperature 400⁰C selama 30 menit menggunakan tungku induksi untuk menghilangkan sisa cat yang menempel di permukaan kaleng. Kemudian, sampel dibagi menjadi 12 dengan variasi variabel proses (komposisi flux, temperature *fluxing*, dan waktu) sebagai berikut:

Tabel 2 Pembuatan dan Perlakuan pada Setiap Sampel

Sampel	Bahan Baku (gr)	Flux NaCl:KCl(1:1) (%)	T (°C)	t (Menit)
NT-1	100	-	750	-
NT-2	100	-	750	-
NT-3	100	-	750	-
750-5	95	5	750	60
750-10	90	10	750	60
750-15	85	15	750	60
800-5	95	5	800	60
800-10	90	10	800	60
800-15	85	15	800	60
850-5	95	5	850	60
850-10	90	10	850	60
850-15	85	15	850	60

Prose *fluxing* dilakukan selama 60 menit. Kemudian, *dross* yang dihasilkan dari proses *fluxing* tersebut terlebih diangkat dari leburan sampel, lalu *ingot* aluminium dicetak dengan proses *casting* dan ditimbang. Masing-masing sampel dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* guna mengetahui komposisi *ingot* aluminium yang dihasilkan. *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat pada porositas *ingot*.

3. Hasil Karakterisasi

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa proses *recycling* menggunakan teknologi penambahan *flux* KCl+NaCl hanya efektif untuk mengikat unsur Mg di dalam aluminium.

8 November 2017

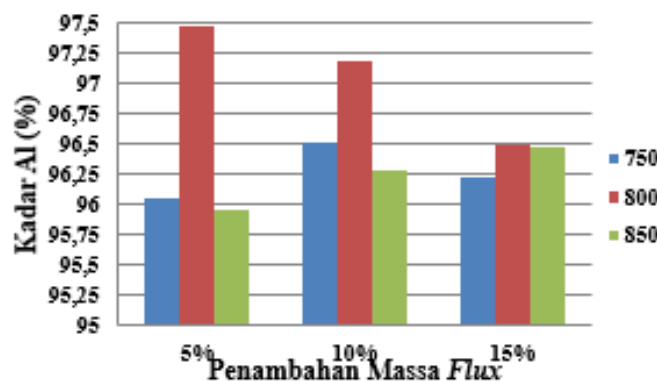
Hal ini ditunjukkan oleh data termodinamika pembentukan $MgCl_2$ dengan nilai ΔG^0 pembentukan yang paling negatif dibandingkan pembentukan klorida Al, Cu, atau Zn. Dari data pengujian yang didapatkan, hanya terdapat satu sampel yang berhasil mereduksi kadar Mg sehingga dapat memenuhi kategori material aluminium 6061. **Tabel 3.** menunjukkan perbandingan komposisi kimia antara sampel 800-10 dengan standar aluminium 6061.

Tabel 3 Perbandingan Komposisi Kimia

	Cu (%)	Fe (%)	Si (%)	Zn (%)	Mg (%)	Al (%)
Al 6061	0,15-0,4	$\leq 0,7$	0,4-0,8	$\leq 0,25$	0,8-1,2	remainder
800-10	0,1833	0,4033	0,118	0,0715	1,0335	97,1899

Jika dilihat pada **Tabel 3** dapat diketahui bahwa *ingot* yang dihasilkan dengan proses *fluxing* pada temperatur $800^{\circ}C$ dan penambahan *flux* NaCl dan KCl sebanyak 10% mampu menghasilkan aluminium dengan komposisi yang mendekati standar Al 6061. Unsur Si menjadi satu-satunya unsur dengan komposisi yang belum memenuhi standar sehingga proses pemaduan (*alloying*) lebih lanjut dibutuhkan untuk mencapai nilai komposisi Si standar.

Temperatur proses *fluxing* mempengaruhi persentase logam Al yang dihasilkan. Hasil akhir kadar aluminium dari setiap sampel setelah dilakukan proses *fluxing* dengan variasi penambahan massa *flux* 5, 10 dan 15% dan variasi temperatur peleburan pada 750, 800 dan $850^{\circ}C$ ditunjukkan oleh **Gambar 1.**

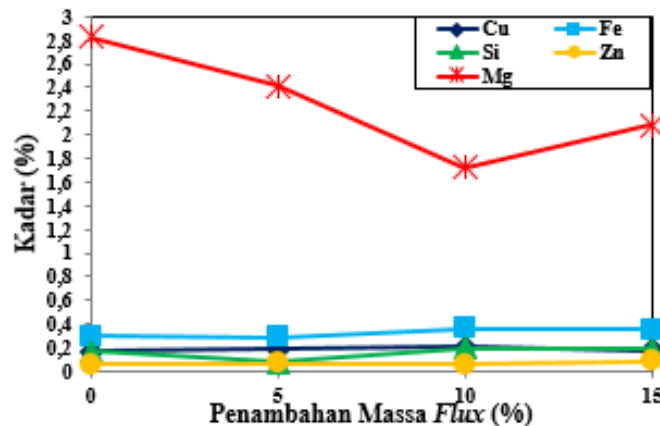
**Gambar 1.** Kadar Al yang dihasilkan untuk setiap sampel

Berdasarkan **Gambar 4.10** dapat diketahui bahwa kadar aluminium yang didapatkan meningkat seiring kenaikan temperatur peleburan dari 750 menjadi $800^{\circ}C$ pada setiap variabel

8 November 2017

penambahan massa *flux*, tetapi pada temperatur peleburan 850⁰C kadar aluminium mengalami sedikit penurunan di semua variabel penambahan massa *flux*. Temperatur 800⁰C merupakan temperatur peleburan yang paling efektif untuk proses *fluxing*. Hal ini terlihat pada setiap variabel penambahan massa flux, kadar aluminium yang didapatkan memiliki nilai yang paling tinggi jika dibandingkan dengan sampel peleburan pada temperatur 750 dan 850⁰C. Sampel dengan kadar aluminium tertinggi didapatkan pada sampel 800-5 (temperatur 800⁰ dengan penambahan 5% flux) dengan kadar Al yang diperoleh sebesar 97,5%.

Variasi massa *flux* yang digunakan di dalam penelitian adalah 5, 10 dan 15% dari total massa sampel. **Gambar 2** menunjukkan pengaruh penambahan massa *flux* terhadap kadar berbagai elemen pengotor pada temperatur peleburan 750⁰C.

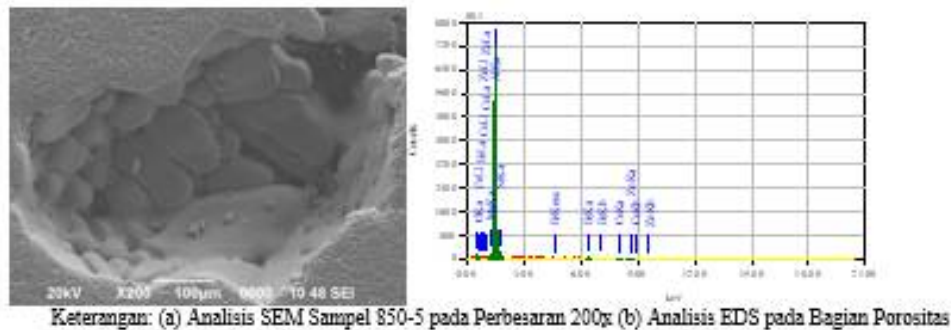


Gambar 2. Pengaruh Penambahan Massa *Flux* Pada Temperatur 750⁰C

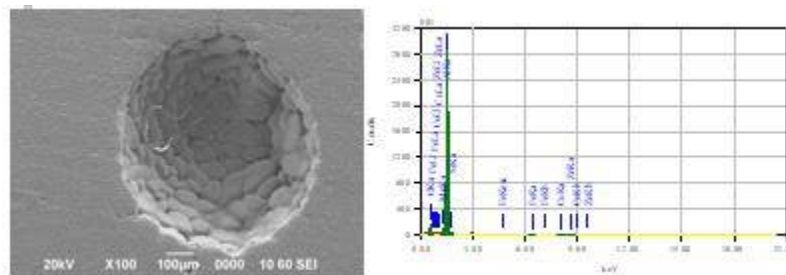
Berdasarkan **Gambar 2** dapat diketahui bahwa pengotor paling dominan dalam limbah kaleng minuman adalah magnesium. Kadar Mg mengalami penurunan seiring penambahan massa *flux* pada temperatur 750⁰C. Pada sampel NT, kadar Mg rata-rata yang terkandung sebesar 2,83%. Sedangkan kadar Mg pada penambahan massa *flux* 5, 10 dan 15% berturut-turut adalah 2,41%; 1,72% dan 2,37%. Kadar Mg pada temperatur peleburan 750, 800 dan 850⁰C berturut-turut adalah 2,37%; 2,07% dan 1,79%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya diketahui bahwa ketika temperatur yang digunakan pada proses *fluxing* bertambah tinggi, maka proses *fluxing* akan berlangsung semakin efektif untuk mengurangi kadar pengotor pada proses daur ulang limbah aluminium^[12,13].

8 November 2017

Anomali yang terjadi pada sampel 800-5, 850-5 dan 850-10 dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktornya adalah adanya porositas pada sampel hasil peleburan. Porositas terjadi karena adanya inklusi dari gas yang dihasilkan dari udara lembab yang timbul saat temperatur peleburan terlalu tinggi. Porositas yang terjadi dari produk *ingot* aluminium dianalisis dengan SEM-EDS untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung. Pengujian menggunakan SEM-EDS dilakukan pada sampel 850-5 dan 850-10 yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3 Hasil Analisis SEM-EDS Sampel 850-5



Keterangan: (a) Analisis SEM Sampel 850-5 pada Perbesaran 100x (b) Analisis EDS pada Bagian Porositas

Gambar 4. Hasil Analisis SEM-EDS Sampel 850-10

Berdasarkan **Gambar 3.** dan **Gambar 4.** dapat diketahui pada sampel 850-10 mempunyai kesamaan hasil analisis kuantitatif EDS dengan sampel 850-5. Unsur Al dan O merupakan unsur inklusi paling dominan pada bagian porositas. Inklusi ini akan cenderung membentuk senyawa Al_2O_3 di dalam sampel. Porositas yang terjadi mengindikasikan proses nukleasi pada bentuk *non-metallic inclusion*^[14].

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Proses *recycling* limbah aluminium dari kaleng minuman dengan penambahan *flux* dan peleburan diketahui mampu menurunkan jumlah pengotor dan meningkatkan kadar logam Al yang dihasilkan. Temperatur dan jumlah penambahan *flux* menjadi faktor penentu keberhasilan proses ini. Temperatur efektif untuk proses *fluxing* adalah pada 800^{0C} dan penambahan *flux* sebesar 10% flux. Kadar Al yang bisa diperoleh dari proses ini mencapai 97.2% dimana kadar tersebut memenuhi standar komposisi dari Al jenis 6061. Proses *fluxing* dinilai efektif untuk mengurangi jumlah unsur Mg. Unsur lain seperti Si memerlukan *treatment* lanjutan sehingga dapat memenuhi standar Al 6061.

REFERENSI

1. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/4047/Indonesia-kekurangan-pasokan-aluminium-> [diakses pada 26 Mei 2015. Pukul 17.13].
2. International Aluminium Institute (URL : <http://www.world-aluminium.org/statistics/primaryaluminium-smelting-energy-intensity/>)
3. George E., Totten and D. Scott MacKenzie. 2003. *“Handbook of Aluminium Vol. 1: Physical Metallurgy and Processes”* : USA.
4. Gilstad, Gro. 2013. *“Life Cycle Assessment of Secondary Aluminium Refining”*. Norwegian University of Science and Technology : Norwegia.
5. Suhariyanto. 2003. “Pengaruh Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC”. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS : Surabaya
6. Zay, I. P. A., Zulfi, F. R., Gurning, A. 2014. “Daur Ulang Scrap Aluminium Sebagai Solusi Alternatif Untuk Mengurangi Ketergantungan Aluminium Impor Di Indonesia”. Institut Teknologi Bandung : Bandung.
7. Gaustad, G., Olivetti, E. & Kirchain, R. 2012. *“Improving aluminum recycling: A survey of sorting and impurity removal technologies”*. *Resources, Conservation and Recycling*,
8. F. U, Qian dan W. Evans, James. 1998. *“Chlorine Fluxing for Removal of Magnesium from Molten Aluminium: Part II. Mathematical Model”*. University of California : Berkeley, CA 94720
9. Majidi, O., Shabestari, S. & Aboutalebi, M. 2007. *“Study of fluxing temperature in molten aluminum refining process”*. *Journal of materials processing technology*, 182, 450-455.
10. A. Rabah, Mahmoud. 2003. *“Preparation of Aluminium-Magnesium Alloys and Some Valuable Salts from Used Beverage Cans”*. Central Metallurgical R&D Institute (CRMIDI) : Cairo, Egypt
11. Verran, G.O., Kurzawa, U. 2007. *“An Experimental Study of Aluminium Can Recycling Using Fusion In Induction Furnace”*. State University of Santa Catarina, Santa Catarina : Brazil.
12. Hiraki, Takehito. et al. 2014. *“Thermodynamic Analysis for Refining Ability of Salt Flux for Aluminium Recycling”*. Graduate School of Engineering, Tohoku University : Japan
13. Ashtari et al. 2012b. *“Removal of Iron from Recycled Aluminium Alloys”*, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 51, 75-80

Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap Komponen Pesawat Terbang

Noviana Utami C. S.^{1,a)}, Yayu Sri Rahayu^{2,b)}, & Rochmadi^{3,c)}

¹Program Studi Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta.

²Program Studi Manajemen Transportasi, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta.

³Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

^{a)}noviana.utami@gmail.co ^{b)}rahayu_072@gmail.com ^{c)}rochmadi@ugm.ac.id

Abstract.

Indonesia is an archipelagic country surrounded by approximately 174 active and inactive volcanoes. The existence of a volcano in a region will provide considerable benefits for human life in the vicinity, but also danger. Volcanic ash (VA) as one of the products of volcanic eruptions is beneficial to improve soil fertility. But on the other hand, the existence of VA can damage and disrupt important infrastructure, such as airport transportation so that it can affect the level of security and safety of consumers in the world of aviation. The volcanic ash studied in this research comes from Mount Merapi, Bromo, and Kelud. The specific purpose of this research was to study the effect of VA on aircraft components, while the long-term goal of this research is to study a good coating material to reduce damage from aircraft components. This research is done by using metal plate sample test method to VA. The plane metal component studied in this research is in the fuselage section. The variables observed / measured in this study include: the chemical composition, size, and VA particle size distribution; also the scale of hardness and metal roughness. The results obtained showed that the chemical composition of VA is possible to affect the metal components of aircraft. This is because the chemical components contained therein are abrasive and have a large concentration. Characteristics of size and distribution of VA particle size indicate pattern similarities. This indicates that the origin of the VA source is the same, that is, the subduction of the northern north of the Indian Ocean plate. The characteristics of hardness and the roughness of aircraft metal of type MD-80 in this research is 44.75 gforce / mm² and 0.10 μm.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara Kepulauan yang dilingkupi oleh kurang lebih 174 jajaran gunung api aktif dan tidak aktif mulai dari Aceh di pulau Sumatera hingga Papua. Adanya gunung berapi pada suatu wilayah akan memberikan manfaat yang cukup besar bagi kehidupan manusia di sekitarnya, namun juga bahaya. Abu vulkanik yang dihasilkan dari letusan gunung berapi bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah dan tumbuhan. Namun di sisi lain, yaitu bagi dunia penerbangan, keberadaan abu vulkanik ini cukup berpengaruh terhadap komponen pesawat terbang (Chen dan Zhao, 2015). Abu vulkanik merupakan material erupsi eksplosif gunung api yang jatuh bebas ke permukaan bumi yang berukuran abu dan diterbangkan pada jarak ratusan kilometer bahkan ribuan kilometer dari pusat erupsi dengan adanya pengaruh angin (Heriwaseso, 2009).

Jajaran gunung berapi aktif dan tidak aktif ini menjadi perhatian tersendiri di dalam dunia penerbangan. Sifat asam dari abu vulkanik ini dapat menyebabkan kerusakan bagi komponen pesawat terbang, yang secara tidak langsung dapat mempengaruhi tingkat keamanan dan keselamatan konsumen di dunia penerbangan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian plate logam terhadap abu vulkanik untuk mempelajari pengaruh abu vulkanik terhadap komponen pesawat terbang. Di sini plate logam diuji pengaruh komposisi kimia abu vulkanik, ukuran partikel abu vulkanik, distribusi ukuran partikel abu vulkanik, serta skala kekerasan dan kekasaran dari plate logam. Plate logam pesawat yang dipergunakan dalam penelitian ini menggunakan jenis logam pesawat terbang dengan tipe McDonnell Douglas MD-80 pada bagian *skin (body* atau *fuselage*) pesawat terbang.

Gunung Api yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi 3 Gunung aktif di Pulau Jawa, yaitu Daerah Istimewa Yogyakarta (Gunung Merapi) di serta 2 gunung di Propinsi Jawa Timur (Gunung Bromo di Malang dan Gunung Kelud).

Selain itu juga diteliti sebaran abu vulkanik pada 2 daerah Bandar Udara, yaitu Bandar Udara Internasional Adi Sutjipto, Daerah Istimewa Yogyakarta dan Bandar Udara Abdul Rahman Saleh, Malang, Jawa Timur. Hal ini menjadi perhatian disebabkan karena pesawat terbang beroperasi di wilayah bandar udara dan untuk mempelajari pengaruh sebaran abu vulkanik sampai ke daerah beroperasinya pesawat terbang.

8 November 2017

Penelitian yang mempelajari pengaruh abu vulkanik sampai pada bulan Oktober tahun 2017 ini telah banyak dilakukan, berikut di antaranya:

Chen dan Zhao (2015), meneliti abu vulkanik dan pengaruhnya terhadap komponen pesawat. Penelitian ini mempelajari sifat abu vulkanik dan pengaruh abu vulkanik terhadap komponen mesin pesawat serta beberapa pelapis pelindung yang potensial untuk mengurangi dampak dari abu vulkanik.

Ahmad (2011), meneliti pengaruh abu vulkanik terhadap *engine turbofan JT9D Pratt dan Whitney*. Penelitian ini mempelajari kandungan abu vulkanik gunung, karakteristik, dan kerusakan apa saja yang terjadi pada mesin pesawat.

Berdasarkan studi pustaka di atas, terlihat bahwa penelitian mengenai pengaruh abu vulkanik terhadap komponen pesawat terbang yang tingkat tinjauannya lebih lebih mendalam sampai pada komposisi kimia abu vulkanik, ukuran partikel abu vulkanik, distribusi ukuran partikel abu vulkanik, serta skala kekerasan dan kekasaran logam di lapangan belum banyak dilakukan oleh penelitian-penelitian yang telah ada pada saat ini, sehingga penelitian ini layak untuk dilakukan.

Hasil penelitian yang diperoleh nantinya dapat memberi manfaat bagi ilmu pengetahuan serta pembangunan Bangsa dan Negara. Bagi Ilmu pengetahuan, penelitian ini digunakan untuk mempelajari pengaruh abu vulkanik terhadap komponen pesawat. Sedang bagi pembangunan Bangsa dan Negara, penelitian ini digunakan untuk membantu pengambilan Keputusan dan kebijakan bagi otoritas di dunia penerbangan akan pentingnya keamanan dan keselamatan penerbangan.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu vulkanik yang berasal 3 daerah yaitu dari Gunung Merapi, Gunung Bromo, dan Gunung Kelud. Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada 6 titik, yaitu di daerah Kali Gendol sebelah Timur Rumah Simbah Marijan dan sebelah Timur Bunker Merapi, daerah Bandar Udara Internasional Adi Sutjipto Yogyakarta; daerah Bandar Udara Abdul Rahman Saleh Malang, Jawa Timur; Gunung Bromo, Jawa Timur; dan Gunung Kelud (Yogyakarta). Selain itu juga digunakan epoxy resin sebagai bahan perekat abu vulkanik.

8 November 2017

2.2 Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan uji XRF untuk mempelajari komposisi kimia dari abu vulkanik. Selain itu juga dilakukan uji *Particle Size* untuk mempelajari ukuran partikel abu vulkanik dan distribusi ukuran partikel abu vulkanik.

Sedang terhadap logam pesawat terbang dilakukan uji skala kekerasan dan kekasaran dengan metode *Vickers* dan uji *Surface Roughness* untuk mengetahui kekasaran logam.

Sejumlah uji di atas dilakukan pada 6 sampel abu vulkanik menggunakan ukuran partikel abu vulkanik yang dibuat seragam, yaitu sebesar $0.150 \mu m$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komposisi Kimia Abu Vulkanik

Komposisi kimia dari abu vulkanik tersaji pada **TABLE 1.** dan **TABLE 2.** Pada **TABLE 1.** terlihat bahwa komposisi kimia dengan prosentase berat/berat yang nilainya cukup signifikan untuk 6 *sample* ditunjukkan pada komponen kimia dalam bentuk senyawa oksida, berupa SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O dan MgO dengan besaran nilai pada 7 *sample* kurang lebih hampir sama. Komponen kimia dalam bentuk senyawa oksida yang tersaji dalam **TABLE 1.** merupakan komponen yang bersifat abrasi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wilson *et al.*, (2014), bahwa contoh bahaya utama dari jatuhnya abu vulkanik adalah adanya sifat abrasi yang tinggi dari jatuhnya abu vulkanik yang disebabkan karena kekerasan dan morfologi dari partikel abu vulkanik.

TABLE 1. Komposisi Kimia Senyawa Oksida Abu Vulkanik

Compound (m/m%)	G. Merapi Timur Rnh. S. Marijan	G. Merapi Timur Bunker Merapi	G. Merapi B.U Int. Adisutjipto Yogyakarta	G. Bromo B.U. Abd. R. Saleh Malang	G. Bromo	G. Kelud Yogyakarta
SiO_2	54.32	49.14	54.52	40.49	55.22	62.39
Al_2O_3	15.90	14.90	15.13	13.20	13.94	13.84
CaO	9.38	8.01	6.99	16.21	7.51	6.88
Fe_2O_3	9.15	7.68	7.88	15.36	11.01	6.68
Na_2O	3.44	2.96	2.55	1.08	3.07	4.04
K_2O	2.63	1.90	1.92	0.823	3.08	1.29
MgO	2.24	2.29	1.68	2.60	2.51	2.22
TiO_2	0.579	0.528	0.496	0.817	0.775	0.406
P_2O_5	0.406	0.386	0.481	0.307	0.466	0.223
MnO	0.220	0.159	0.187	0.273	0.166	0.168
SO_3	0.139	0.156	0.231	0.322	0.669	0.237
BaO	0.0656	0.0654	0.0633	0.0615	0.112	0.0718

8 November 2017

Untuk komponen kimia dalam bentuk senyawa oksida SiO_2 dari 6 lokasi pengambilan *sample* berkisar antara 40.49 sampai 62.39 m/m%. Hasil ini sama seperti penelitian yang dilakukan oleh Wulaningsih T. *etc.*, (2015), bahwa komposisi kimia senyawa oksida SiO_2 pada Gunung Merapi berkisar antara 52.04 sampai 60.30 wt%.

Sedang untuk komponen kimia dalam bentuk senyawa oksida yang lain, yaitu K_2O berkisar antara 0.823 sampai 3.08 m/m%. Hasil ini juga sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Wulaningsih T. *etc.*, (2015), bahwa komposisi kimia K_2O pada Gunung Merapi mengalami kenaikan dari 1.99 ke 2.99 wt%. Berdasarkan **TABLE 1.** untuk komponen kimia Al_2O_3 berkisar antara 13.20 sampai 15.90 m/m%. Untuk komponen kimia CaO berkisar antara 7.51 sampai 16.21 m/m%. dan Fe_2O_3 berkisar antara 6.68 sampai 15.36 m/m%.

Komposisi kimia Fe_2O_3 pada *sample* Gunung Bromo Bandar Udara Abdul Rahman Saleh Malang dan Gunung Bromo dalam **TABLE 1.** menunjukkan nilai yang cukup besar, yaitu 15.36 dan 11.01 m/m% dibandingkan *sample* pada lokasi yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa dengan komposisi kimia besi dalam bentuk oksida yang lebih besar akan menyebabkan warna abu vulkanik Gunung Bromo dan daerah Bandar Udara Abdul Rahman Saleh Malang terlihat lebih gelap bila dibandingkan dengan warna abu vulkanik dari *sample* Gunung Merapi maupun Kelud. Seperti pada senyawa oksida dalam **TABLE 1.** pada **TABLE 2.** terdapat setidaknya 7 komponen kimia yang memiliki prosentase berat/berat yang bernilai besar, yaitu Si, Al, Ca, Fe, Na, K, dan Mg.

Dalam **TABLE 2.** untuk komponen kimia unsur Si menunjukkan prosentase berat/berat dari 6 lokasi pengampilan hampir sama, yaitu dalam kisaran 18.93 sampai 29.17 m/m%.

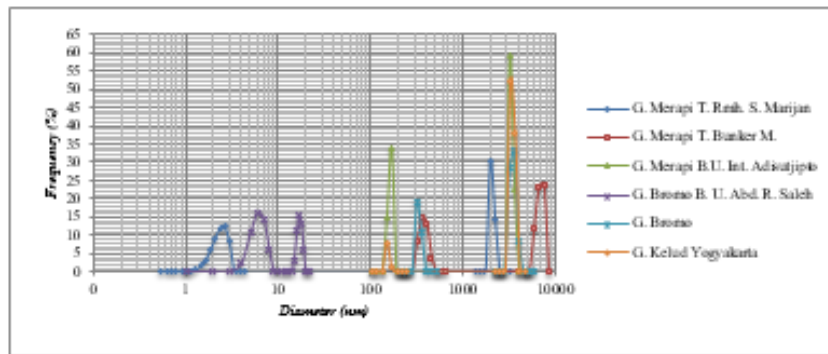
TABLE 2. Komposisi Kimia Dalam Abu Vulkanik

Compound (m/m%)	G. Merapi Timur Rmh. S. Marijan	G. Merapi Timur Bunker Merapi	G. Merapi B.U Int. Adisutjipto Yogya	G. Bromo B.U. Abd. R. Saleh Malang	G. Bromo	G. Kelud Yogyakarta
Si	25.40	22.98	25.49	18.93	25.82	29.17
Al	8.41	7.88	8.01	6.98	7.37	7.32
Ca	6.71	5.73	5.01	11.59	5.37	4.92
Fe	6.39	5.36	5.49	10.72	7.68	4.66
Na	2.55	2.19	1.89	0.801	2.28	2.99
K	2.19	1.58	1.59	0.683	2.56	1.07
Mg	1.35	1.39	1.01	1.57	1.52	1.34
Ti	0.347	0.317	0.297	0.499	0.465	0.244
P ₂	0.177	0.169	0.210	0.134	0.204	0.0972
Mn	0.171	0.123	0.145	0.212	0.129	0.130
S ₂	0.0557	0.0624	0.0923	0.129	0.268	0.0951
Ba	0.0588	0.0586	0.0567	0.0551	0.1000	0.0643
Cl	0.0608	0.0293	0.0771	0.0250	0.188	0.177

8 November 2017

Ukuran Partikel Abu Vulkanik

GAMBAR 2. menunjukkan hubungan frekuensi antara ukuran partikel abu vulkanik terhadap diameter abu vulkanik. Pada **GAMBAR 2.** terlihat adanya kesamaan pola pada 2 *sample* pertama, yaitu *sample* dengan lokasi pengambilan Gunung Merapi daerah Bandar Udara Adi Sutjipto Yogyakarta dan Gunung Kelud daerah Yogyakarta. Kemudian kesamaan pola pada 2 *sample* kedua, yaitu *sample* dengan lokasi Gunung Merapi Timur Bunker Merapi dan Gunung Bromo.



GAMBAR 2. Hubungan antara frekuensi ukuran partikel abu vulkanik terhadap diameter abu vulkanik

Secara garis besar adanya kesamaan pola dari ukuran partikel abu vulkanik dari seluruh lokasi pengambilan *sample* menunjukkan bahwa sumber asal dari abu vulkanik tersebut adalah sama. Menurut Wulaningsih T. *et al.*, (2015), menjelaskan bahwa Gunung Merapi berasal dari subduksi utara selatan lempeng Samudra Hindia di bawah sistem busur Jawa. Subduksi ini menciptakan jalur gunung berapi aktif dari pulau Sumatera, Jawa, Bali sampai Nusa Tenggara. Atau dengan kata lain subduksi tersebut menciptakan rantai gunung berapi yang dianggap sebagai cincin api pasifik (*pasific Ring of Fire*) yang paling aktif.

3.3 Distribusi Ukuran Partikel Abu Vulkanik

Distribusi rata-rata ukuran partikel abu vulkanik tersaji pada **TABLE 3.** di bawah ini. Pada **TABLE 3.** menunjukkan adanya kesamaan pola pada 3 lokasi pengambilan *sample*, yaitu *sample* pada lokasi Gunung Merapi di daerah Bandar Udara Internasional Adi Sutjipto Yogyakarta, Gunung Bromo di daerah Bandar Udara Abdul Rahman Saleh Malang, dan Gunung Bromo dengan nilai distribusi rata-rata ukuran partikel abu vulkanik dalam kisaran 2409.3 sampai 2889.6 nm.

8 November 2017

TABLE 3. Distribusi Rata-rata Ukuran Partikel Abu Vulkanik

<i>Mean Distribution</i>	G. Merapi Timur Rnah. S. Marijan	G. Merapi Timur Bunker Merapi	G. Merapi B.U Int. Adisutjipto Yogyakarta	G. Bromo B.U. Abd. R. Saleh Malang	G. Bromo	G. Kelud Yogyakarta
<i>(nm)</i>	870.0	3967.0	2577.8	1481.1	2409.3	2889.6

Kesamaan pola distribusi ukuran partikel abu vulkanik dalam **Table 3.** diatas sejalan dengan hubungan frekuensi antara ukuran partikel abu vulkanik dengan diameter abu vulkanik yang ditunjukkan dalam **GAMBAR 2.**, sehingga secara tidak langsung menunjukkan bahwa abu vulkanik berasal dari sumber yang sama.

3.4 Skala Kekerasan dan Kekasaran Logam Pesawat Terbang

Skala kekerasan plate *disk* logam pada bagian *fuselage* pesawat terbang dalam penelitian ini adalah sebesar $44.75 \text{ gforce/mm}^2$. Sedang nilai kekasaran plate *disk* logam untuk penelitian ini adalah sebesar $0.10 \mu\text{m}$. Nilai kekerasan dan kekasaran logam di atas berfungsi sebagai karakteristik dari logam.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah komposisi kimia abu vulkanik dimungkinkan berpengaruh terhadap komponen logam pesawat terbang. Hal ini disebabkan karena komponen kimia yang terkandung di dalamnya bersifat abrasif, seperti SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O dan MgO dan memiliki konsentrasi yang cukup besar. Karakteristik ukuran dan distribusi ukuran partikel abu vulkanik menunjukkan kesamaan pola. Hal ini menunjukkan bahwa sumber asal dari abu vulkanik adalah sama, yaitu subduksi utara selatan lempeng Samudra Hindia. Karakteristik kekerasan dan kekasaran logam pesawat terbang tipe MD-80 dalam penelitian ini adalah sebesar $44.75 \text{ gforce/mm}^2$ dan $0.10 \mu\text{m}$.

ACKNOWLEDGMENTS

Pada kesempatan ini kami Tim Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada **Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia** atas kepercayaan dan kesempatan kepada kami sebagai penerima dana **Hibah Penelitian Dosen Pemula Tahun 2016** dengan **Tahun Pelaksanaan 2017**. Ucapan terima kasih juga tak lupa kami sampaikan kepada **Universitas Gadjah Mada** atas bantuan fasilitas Laboratorium di Fakultas Teknik.

8 November 2017

Serta kepada Pusat **Penelitian Kimia-LIPI, Jakarta Selatan** dan **Laboratorium Pusat Survei dan Geologi-Kementerian ESDM Bandung** atas bantuan analisis. Tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada Bapak Basirun dan Bapak Sunhaji selaku laboran Laboratorium Teknik. Serta kepada semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu terlaksananya penelitian ini berjalan dengan lancar.

REFERENSI

- Ahmad, (2011), "*Pengaruh Abu Vulkanik Terhadap Engine Pesawat Turbonfan JT9D & Whitney*", Laporan Tugas Akhir Program Studi Diploma III Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta.
- Chen, W. R., dan Chao, L. R., (2015), "*Volcanic Ash and Its Influence On Aircraft Engine Component*", *Procedia Engineering* 99 (2015), pp. 7.
- Heriwaseso, A., (2009), "*Model Prakiraan Penyebaran Dan Ketebalan Abu Vulkanik Akibat Letusan Gunung Api (Studi Kasus Di G. Galunggung, G. Merapi dan G. Tambora)*", *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, Volume 4 Nomor 3, Desember 2009, 9 - 9.
- Wilson, G., Wilson, T. S., Deligne, N. I., Cole, J. W., (2014), "*Volcanic Hazard Impacts To Critical Infrastructure: A review*", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 286 (2014), 148 - 182.
- Wulaningsih, T., Humaida H., Harijoko A., Watanabe K., (2013), "*Major Element and Rare Earth Elements Investigation of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia*", *International Symposium on Earth Science and Technology, CINEST 2012, Procedia Earth and Planetary Science* 6 (2013) 202 – 211.

Pengaruh Variasi Kecepatan Pengelasan Gma Baja Tahan Karat Austenitik Aisi 316L Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik

Gunawan Dwi Haryadi^{1,a}, & Deni Fajar¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

^agunawan_dh@ft.undip.ac.id

ABSTRAK

Jenis Pengelasan baja tahan karat austenitik AISI 316L banyak di aplikasikan pada bidang konstruksi dan pembuatan komponen. Permasalahan pengelasan baja tahan karat austenitik AISI 316L adalah menurunnya kualitas hasil las akibat masalah penggetasan oleh endapan halus karbida krom diantara batas butir dan juga ketahanan korosi menjadi berkurang. Pada sisi lain baja tahan karat austenitik AISI 316L akan mengalami kekurangan krom pada daerah fusi karena terbentuknya krom karbida. Metoda penelitian ini dilakukan menggunakan pengelasan gas metal arc welding (GMAW) secara semiotomatis pada pelat baja tahan karat austenitik AISI 316L dengan tebal 3 mm, menggunakan kawat elektroda pejal ER 308L dengan diameter 0.8 mm, pada kecepatan pengelasan bervariasi 175 mm/menit, 190 mm/menit, 205 mm/menit, dengan arus las 143A, pada polaritas arus direct current electrode positive (DCEP). Dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian kekerasan, pengujian komposisi kimia dan pemeriksaan struktur mikro pada daerah terpengaruh panas (HAZ).

Kata kunci: AISI 316L, DCEP, ER308L, HAZ, krom karbida, krom oksida, kecepatan pengelasan

PENDAHULUAN

Pengelasan *gas metal arc welding* (GMAW) merupakan salah satu jenis proses pengelasan yang penting dan banyak digunakan secara manual atau semi otomatis maupun robot [Jesper S.Thomsen,2005]. Dalam pengelasan baja tahan karat austenitik bagaimana memberikan kondisi bebas retak pada lasan dan menjaga lasan maupun daerah terpengaruh panas (HAZ) memiliki sifat ketahanan korosi mendekati sama dengan logam dasarnya, melalui pemilihan kawat elektroda (*filler*), masukan panas dan menjaga prosentase delta ferit pada daerah lasan dapat meningkatkan sifat ketahanan korosi [Ahluwalia, 2003].

8 November 2017

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh kecepatan pengelasan GMAW terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada sambungan las *butt joint* baja tahan karat austenitik AISI 316L, diharapkan menghasilkan solusi alternatif yang bisa diaplikasikan di bidang industri pengelasan.

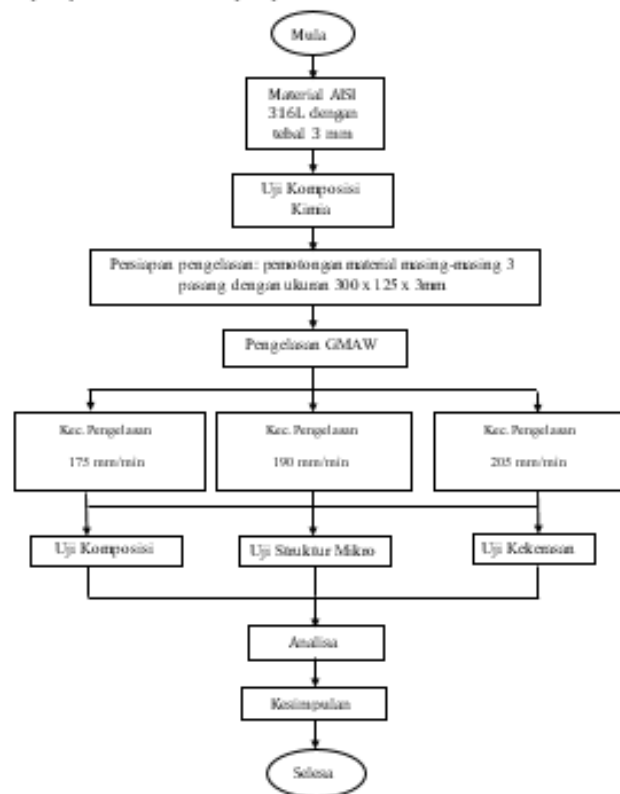
METODE

Material yang digunakan yaitu pelat baja tahan karat austenitik paduan seri AISI 316L, dengan bahan pengisi untuk proses GMAW adalah ER 308L. Komposisi kimia hasil uji pada Tabel 4-1 terlihat perbandingan antara logam induk dan logam las.

Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia logam induk dan logam las

Material	%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Ni	%Mo	%Cr	%Fe
AISI 316L	0,02	0,47	0,008	0,046	1,899	10,018	2,096	17,501	67,290
ER 308L	0,03	0,30	0,020	0,030	1,000	9,000	0,300	19,500	-
Weldment	0,05	0,40	0,006	0,006	1,632	9,717	0,481	19,294	68,039

Diagram alir pada penelitian ini terlihat seperti pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir penelitian

8 November 2017

Parameter-parameter proses las yang terukur dalam penelitian ditunjukkan pada dibawah ini. Tabel

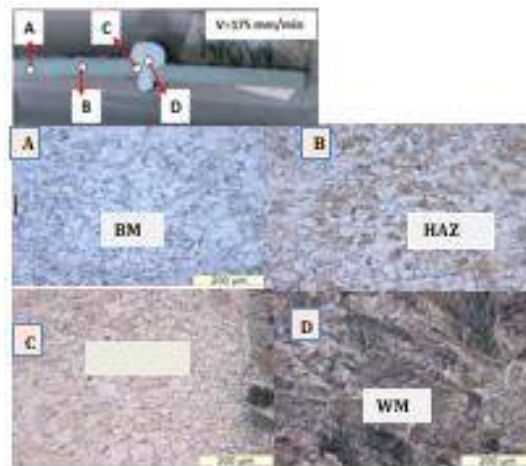
2. Parameter las GMAW

Parameter Las			Material		
Welding speed (mm/min)	Arus (A)	Diameter filler (mm)	Metal Transfer (Droplet)	Gas Flow Rate (psi)	Gas Argon (l/min)
175	130	0,8	Shot Circuit	10	10
190				10	
205				10	

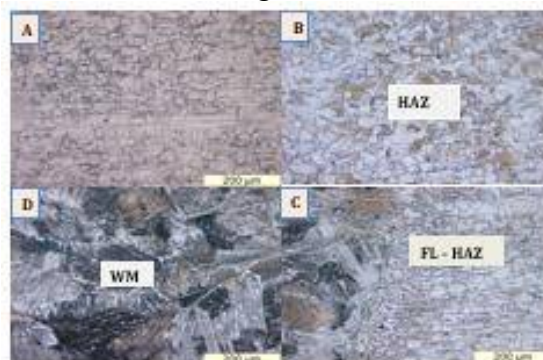
Tabel 2. Parameter las GMAW

HASIL DAN PEMBAHASAN

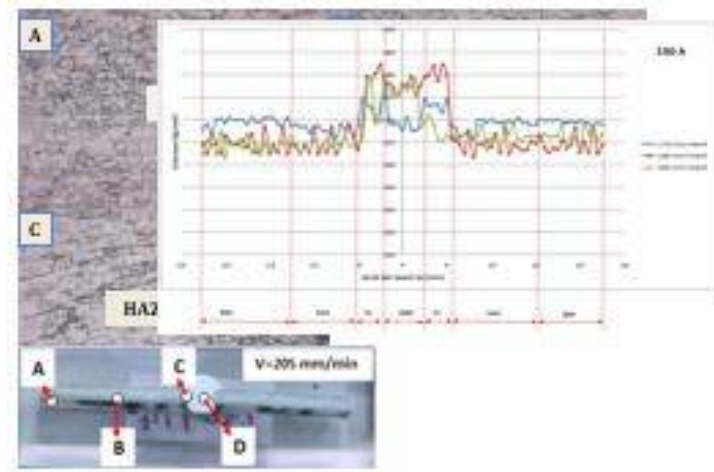
1. Struktur Mikro



Gambar 2 a. Struktur mikro dengan arus las 130 A, V=175 mm/menit



Gambar 2 b. Struktur mikro dengan arus las 130 A, V=190 mm/menit



Gambar 2 c. Struktur mikro dengan arus las 130 A, V=205 mm/menit

Catatan : **BM** = Logam Induk (*Base Metal*)

HAZ = Daerah Terpengaruh Panas (*Heat Affected Zone*)

FL = Daerah Fusi (*Fusion Line*)

WM = Daerah Logam Las (*Weld Metal*)

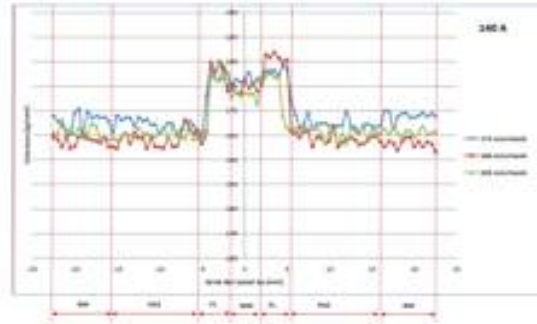
2. Kekerasan

Gambar dibawah merupakan grafik hasil pengujian kekerasan hasil las GMAW dari logam las, daerah fusi, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk..

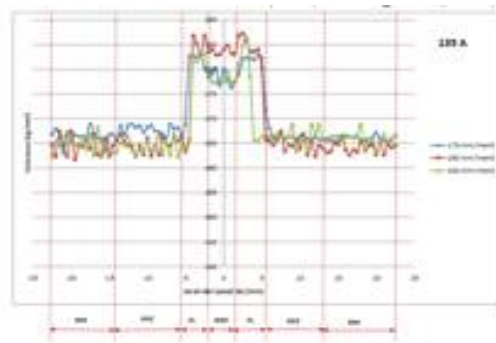


Gambar 3 a. Distribusi kekerasan (VHN) sambungan las (130 A)

8 November 2017



Gambar 3 b. Distribusi kekerasan (VHN) sambungan las (135 A)



Gambar 3 c. Distribusi kekerasan (VHN) sambungan las (140 A)

CONCLUSIONS

Hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Struktur mikro di daerah HAZ hampir sama dengan logam induk, dan mengalami perubahan fasa setelah daerah fusi ke logam las.
- Terlihat kesamaan nilai kekerasan diantara logam induk dan daerah terpengaruh panas (HAZ) akibat panas yang diterima pada sambungan las pada pengelasan semiotomatis GMAW pada kecepatan pengelasan yang berbeda-beda akan menghasilkan perubahan fasa yang tidak signifikan bila dibandingkan dengan proses pengelasan secara manual.
- Indikasi terjadinya tegangan akibat penyusutan logam yang dengan laju pendinginan yang relatif cepat, akan menghasilkan butir atau fasa yang lebih halus pada daerah fusi, dan di daerah terpengaruh panas (HAZ) relatif hampir sama besar butirnya, kecuali pada logam las menghasilkan struktur dendrite berbentuk kolom.

8 November 2017

REFERENCES

ASM Metals Handbook, 8th Edition, Volume 9, p.1983

Arif Fisca Sunandar, "Perbedaan Karakteristik Hasil Pengelasan Metode GTAW dan SMAW Terhadap Baja Tahan Karat 316L", Fakultas Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, 2012

Atanda, P., Fatudimu, A., and Oluwole, O., "Sensitisation Study of Normalized 316L Stainless Steel", Material Science and Engineering Department Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, Vol 9, No.1, pp. 13-23., 2010

Cary, Howard B "Modern Welding Technology" Fourth Edition, Prentice Hall, Columbus, Ohio, 1979.

Edward R. Bohnart "Welding Principles and Practices" 4th ed. p.cm, Mc Graw Hill, 2005.

Jesper, S. Thomsen, (2006), "Control of Pulsed Gas Metal Arc Welding", Department of Control Engineering, Institute of electrical systems, Aalborg University, Aalborg Denmark, Vol.1 No.2, pp. 115-125.

James F. Lincoln Foundation, "The Procedure Handbook Of Arc Welding", Fourteenth Edition, 2000

J. Lozano, P. Moreda, C. L. Lorente dan P. D. Bilmes., "Fusion Characteristics Of Austenitic Stainless Steel GMAW Welds", Laboratorio de Investigaciones de Metallurgia Fisika (LIMF) Facultad de Ingenieria - UNLP, Calle 1 y 47, 1900, Latin applied Research, pp 27-31., 2003

Kou, S., 2003, "Welding Metallurgy", 2 ed., John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Kotecki, DJ., and Lippold, J.C., "Welding Metallurgy and Weldability Of Stainless Steel", John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2005

M. St. Weglowski, Y. Huang, Y. M. Zang, "Effect of Welding Current on Metal Transfer in GMAW", Archives Of Material Science and Engineering, Vol 33, page 49-56, 2008.

Nansaarn, S., Chaisang, C., (2007), "Influence of Parameters of Gas Metal Arc Welding on Macrostructures and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels", Department of Production Technology Education., King Mongkut University of technology Thonburi 126 Pracha-u-tid Rd., Bangmond, Troong-kru, Bangkok 10140, Thailand

Reny Indraswari. Tesis, H.S., (2010), "Pengaruh hasil pengelasan SMAW dan GTAW terhadap perilaku korosi stainless steel 316L", Teknik Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia.

8 November 2017

Analisis KEGAGALAN CRANKPIN PADA SEPEDA MOTOR 125 CCSri Nugroho^{1, A)}, Sulardjaka¹, & Krenius¹¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

a)srinugroho2004@yahoo.com

Abstract.

Failure analysis is a process of collecting and analyzing data to determine the cause of failed component or part which is based on the investigation to the objects systematically. This study explains the failure of crankpin on 125 cc motorcycle that has been operating for about four years. Undesirable noise was detected in crankshaft when the engine is running, and then the machine stop and broken. An early indication of the failure is a lubricant spill out when the motorcycle parked. The causes and mechanisms of failure were investigated in the laboratory by visual investigation, macrography analysis, chemical composition analysis, hardness measurement, and micrography analysis. The visual investigation results found that the surface has a wear phenomenon due to the contact of crankpin with the needle roller bearing, and the lubrication system that work inoptimal in minimizing friction between the components. The macrography results found that the wear is a pitting phenomenon and there are cracks under the wearing crankpin surface. The cracks are formed due to repeated-cycle deformation mechanisms. The result of chemical composition analysis of the crankpin found that the material is SCM 420 steel, which is standard for crankpin. Micrography analysis and hardness measurement results found that there is a difference between the failure and new crankpin. The surface of failure crankpin had a deep internal oxidation. Therefore, it is cause the hardness of the crankpin becomes lower. This study concludes the failure mechanism is due to the deep internal oxidation caused by imperfect gas carburizing process.

Keywords: crankpin, internal oxidation, pitting, SCM 420.

1. PENDAHULUAN

Pada zaman yang serba cepat ini, kendaraan menjadi salah satu kebutuhan manusia sebagai alat transportasi. Di kawasan Asia, Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah konsumen kendaraan terbesar. Menurut Kepala Korps Polisi Lalu Lintas, terdapat lebih dari seratus dua puluh juta kendaraan di Indonesia pada tahun 2016 dan sepeda motor merupakan kendaraan yang paling banyak digunakan, yaitu sekitar 71% dari total kendaraan di Indonesia.

8 November 2017

Pada kendaraan sepeda motor, terdapat tiga komponen utama yaitu komponen rangka, sistem mesin, dan sistem kelistrikan. Komponen sistem mesin yang paling umum diketahui adalah *crank case*, *cylinder block* (silinder blok), *cylinder head* (kepala silinder), piston, *ring* piston, *connecting rod* (batang piston), *crankshaft* (poros engkol), dan mekanisme katup. Material yang digunakan pada sistem mesin ini adalah besi cor dan aluminium. Namun karena sistem mesin ini melakukan kerja yang berat, komponen tersebut dapat mengalami kerusakan seperti aus atau retak. Hal ini menyebabkan kerja mesin menjadi tidak sempurna dan bisa menyebabkan mesin gagal bekerja.

Crankpin merupakan komponen penting pada sistem mesin sepeda motor, yang berfungsi sebagai penghubung antara *connecting rod* dengan *crankshaft*. Jika terjadi kegagalan pada komponen ini, akan berakibat fatal pada sistem mesin hingga dapat menyebabkan kerusakan pada mesin. *Crankpin* yang mengalami kegagalan terdapat pada sepeda motor roda dua 125 cc. Ditemukan daerah aus pada bagian *crankpin* yang bersentuhan langsung dengan *roller bearing* pada bagian *big end connecting rod*. Efek dari kegagalan ini adalah timbulnya suara kasar dari dalam mesin. Hal ini bisa terjadi karena kurangnya perawatan pada mesin khususnya pada penggantian pelumas [1]. Maka dari itu dibutuhkan analisis kegagalan terhadap komponen *crankpin* supaya dapat mengetahui penyebab kegagalannya dan dapat memperbaiki kesalahan serta untuk pencegahan agar tidak mengulangi kesalahan yang terjadi pada komponen *crankpin*.

2 METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan untuk bisa menginvestigasi mekanisme dan penyebab kegagalan *crankpin*. Untuk mencapai tujuan ini investigasi lapangan dan pendekatan eksperimen di tingkat laboratorium dilakukan untuk mengungkap bukti-bukti yang terkait dengan kegagalan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengamatan visual, makrografi, komposisi kimia, kekerasan, dan mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengamatan Visual

Pengamatan visual merupakan salah satu metode dalam analisis kegagalan. Metode ini bertujuan untuk melihat bentuk fisik dari material yang mengalami kegagalan serta karakteristik yang terjadi. Pada Gambar 1 terlihat jelas *crankpin* mengalami kerusakan dibagian *crankpin neck surface*, dengan kerusakannya berupa aus pada sebagian permukaannya. Keausan pada

8 November 2017

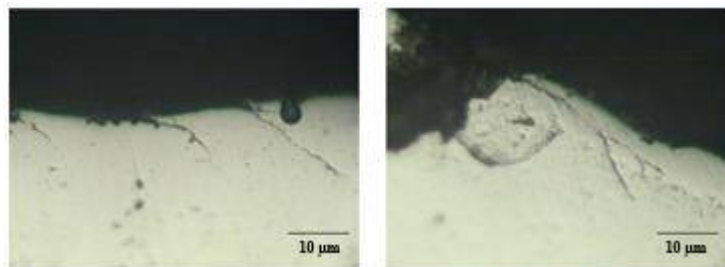
permukaan ini adalah akibat gesekan antara *crankpin* dengan *needle roller bearing* yang terdapat pada *big end connecting rod*.



GAMBAR 1. Keausan pada sebagian permukaan *crankpin*.

3.2 Hasil Pengujian Makrografi

Berdasarkan pengamatan visual yang telah dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic dengan perbesaran 1x, keausan tampak seperti lubang-lubang kecil (*pitting*), yang merupakan ciri dari *fatigue wear* (*spalling wear*). Keausan ini menyebabkan terbentuknya retakan tepat dibawah permukaan pada bagian yang terdeformasi, kemudian retak tersebut merambat ke permukaan dan menghilangkan partikel-partikel di permukaan, yang terlihat seperti lubang-lubang kecil [2]. Untuk melihat retakan ini, dilakukan pengujian mikroskop dengan mengamati *cross-sections* dari bagian yang aus, seperti pada Gambar 2.



GAMBAR 2. *Cross-sections* dari bagian *crankpin* yang aus. Terdapat retak yang menjadi penyebab keausan lelah (*fatigue wear*). Perbesaran 200x.

3.3 Hasil Uji Komposisi Kimia

TABLE 1. Komposisi kimia *crankpin* (wt%)

Unsur	Fe	C	Cr	Mo	Si	Mn	Ni	Cu
<i>Crankpin Gagal</i>	97,36	0,191	0,959	0,176	0,232	0,796	0,083	0,109
<i>Crankpin Baru</i>	97,23	0,214	0,914	0,186	0,254	0,744	0,148	0,211
SCM 420	Bal.	0,18 – 0,23	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	0,15 – 0,35	0,60 – 0,85	0,25 max	0,30 max

8 November 2017

Hasil dari pengujian ini *crankpin* gagal menunjukkan bahwa unsur utamanya adalah Fe sebesar 97.36 wt% dan unsur-unsur paduan yang dominan adalah Cr dan Mo yang masing-masing sebesar 0.959 wt% dan 0.176 wt%. Sedangkan pada *crankpin* baru tidak ditemukan perbedaan dari perbandingan antara kedua *crankpin* dan dapat dikatakan relatif sama. Dengan demikian material *crankpin* masuk ke dalam klasifikasi baja paduan Cr-Mo nomor seri SCM 420 (standar Jepang).

Adanya unsur Cr untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, meningkatkan kemampukerasan merubah kekuatan pada suhu tinggi, atau merubah ketahanan abrasi pada karbon tinggi. Sedangkan unsur Mo adalah untuk menginduksi pengerasan sekunder selama proses *tempering* pada baja yang sedang di *quench* [3].

3.4 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester Model HR-150A* dan untuk *microhardness* menggunakan *Vickers Hardness Tester*. Uji kekerasan *Rockwell* menggunakan skala C (HRC) dengan pembebanan 150 kgf dan menggunakan pendentor *diamond*. Untuk uji kekerasan *vickers* menggunakan penetrator *diamond* dengan pembebanan 1 kgf.

Pengujian *rockwell* dilakukan pada permukaan *crankpin* seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dan nilai kekerasannya dapat dilihat pada Table 2.



GAMBAR 3. Titik-titik pengujian kekerrasan *Rockwell* pada *crankpin*.

TABLE 2. Nilai kekerasan *Rockwell* (HRC)

Titik Pengujian	Nilai Kekerasan (HRC)	
	<i>Crankpin</i> gagal	<i>Crankpin</i> baru
1	56	58
2	56	59
3	56	56

Dari hasil pengujian *Rockwell*, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan antara *crankpin* gagal dan baru tidak memiliki nilai perbedaan yang signifikan.

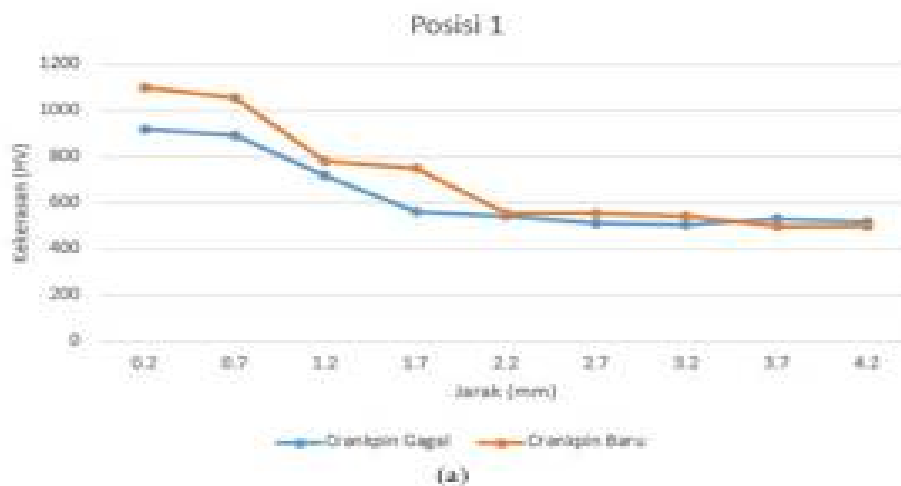
8 November 2017

Kemudian untuk hasil yang lebih spesifik, dilakukan pengujian *vickers* untuk mengetahui kekuatan dari struktur mikro *crankpin*, seperti pada Gambar 4. Posisi 1 merupakan arah penitikan dari permukaan aus ke inti *crankpin*. Posisi 2 merupakan arah penitikan dari permukaan dengan jarak 20 mm dari bagian yang aus.

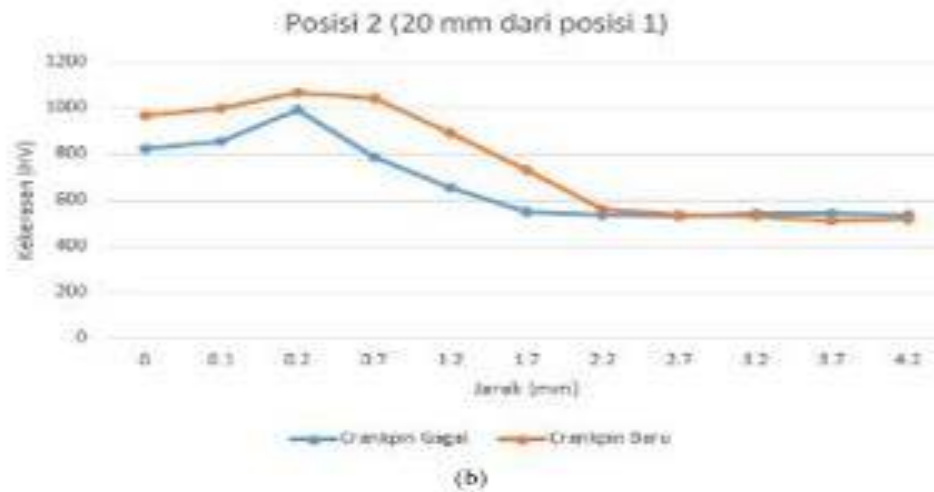


GAMBAR 4. Posisi pengujian kekerasan *vickers* pada *crankpin*

Titik pengujian pada posisi 1 dilakukan sebanyak 9 kali, dengan jarak antar titik sebesar 0.5 mm. Penitikan pada *crankpin* gagal dilakukan pada jarak awal 0.2 mm dari permukaan aus hingga jarak 4,2 mm dari permukaan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih valid, dilakukan penitikan pada posisi 2, yang hasil kekerasannya dapat dilihat pada Table 4 berikut. Pada posisi 2, penitikan dilakukan dari permukaan yang tidak aus hingga jarak 4.2 mm dari permukaan. Nilai kekerasan pada bagian permukaan *crankpin* gagal jauh lebih kecil daripada *crankpin* baru. Untuk melihat secara jelasnya perbedaan angka kekerasan, data tersebut kemudian disajikan pada grafik di Gambar 5 berikut ini.



8 November 2017



GAMBAR 5. Nilai kekerasan dari (a) bagian permukaan aus dan (b) bagian permukaan yang tidak aus, dimana penitikkan dilakukan hingga ke bagian inti *crankpin*.

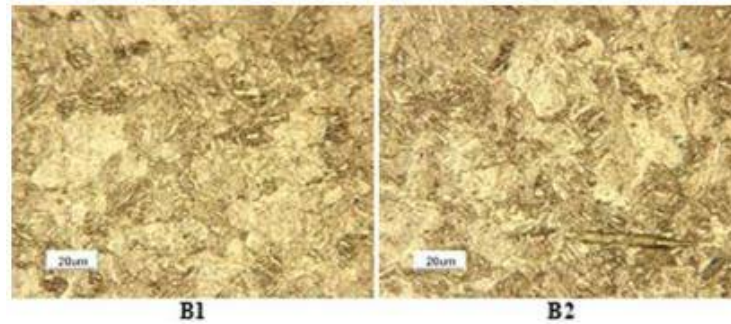
Berdasarkan grafik nilai kekerasan *vickers* diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan *vickers* pada bagian permukaan *crankpin* gagal jauh lebih kecil daripada *crankpin* baru. Hal ini disebabkan karena terjadinya proses oksidasi internal yang mengakibatkan kekerasan *crankpin* gagal menjadi lebih rendah.

3.5 Hasil Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi ini bertujuan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada *crankpin* gagal dan baru yang kemudian hasilnya akan dibandingkan. Pengujian mikrografi ini dilakukan di Laboratorium Material Bahan Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Untuk pengujian ini, larutan etsa yang digunakan adalah larutan Nital dengan komposisi 4% HNO₃ + 96% Methanol.

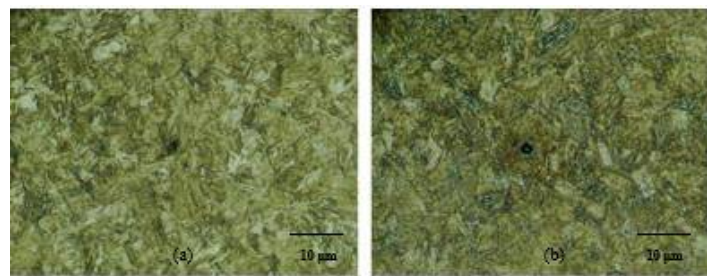
Struktur mikro pada bagian inti baja *carburizing* akan berubah menjadi *martensite* apabila memiliki kemampu-kerasan yang tinggi. Bagian inti *martensite* diinginkan pada komponen yang menerima tegangan tinggi. *Martensite* karbon rendah merujuk pada *lath martensite*, dan morfologinya terdiri dari *lath* halus yang disusun sejajar satu sama lain di daerah yang disebut *packets* [4].

8 November 2017



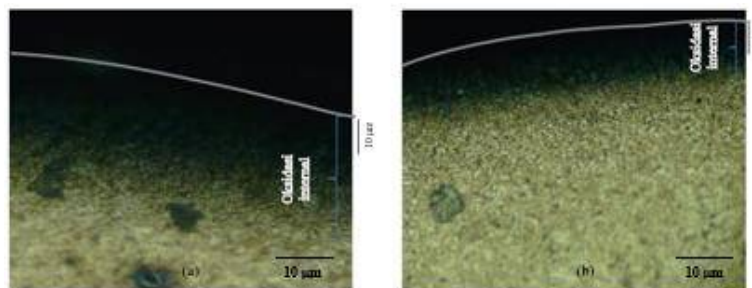
GAMBAR 6. Struktur mikro *lath martensite* pada inti baja *carburizing* [5].

Dari hasil pengujian makrografi, didapati bahwa struktur mikro dari *crankpin* adalah *martensite* dan *retained austenite*. *Martensite* berbentuk seperti jarum dan berwarna gelap, sedangkan *retained austenite* berwarna lebih cerah. Gambar 7 menunjukkan struktur mikro pada bagian inti *crankpin* gagal dan baru.



GAMBAR7. Struktur mikro pada bagian inti *crankpin* (a) gagal dan (b) baru.

Perbedaan struktur mikro tampak terlihat pada bagian permukaan *crankpin*. Pada *crankpin* gagal, permukaannya terdapat bagian berwarna hitam yang cukup luas, sedangkan pada *crankpin* baru, bagian berwarna hitam tidak terlalu luas. Bagian hitam tersebut disebut oksidasi internal, yang dapat dilihat pada *cross-section* dari permukaan *crankpin*, seperti pada Gambar 8.



GAMBAR 8. *Cross-section* pada permukaan *crankpin* (a) gagal dan (b) baru.

Garis putus-putus menunjukkan permukaan *crankpin*.

8 November 2017

Pengamatan diambil pada sisi *crankpin* yang tidak mengalami keausan. Dari hasil pengamatan diatas terlihat bahwa *crankpin* gagal dan baru sama-sama memiliki oksidasi internal. Namun, oksidasi internal pada *crankpin* baru sekitar 13 μm , sedangkan pada *crankpin* gagal sekitar 36 μm . Baja *carburizing* yang memiliki oksidasi internal melebihi 14 μm akan mengalami penurunan kekuatan lelah. Oksidasi internal ini berbentuk inklusi yang sangat kecil, yang sangat rentan untuk terjadinya inisiasi retakan.

Daerah oksidasi internal mempunyai laju pendinginan kritis yang lebih besar, sehingga dapat menyebabkan proses HTTP (*High Temperature Transformation Product*) yang mengakibatkan terbentuknya *nonmartensitic microstructure*, yaitu *pearlite*, *upper* dan *lower bainite*, atau campuran keduanya. Karena terjadinya proses ini, kekerasannya menjadi turun akibat adanya *bainite* dan ketahanan terhadap aus menjadi berkurang [6].

4 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu hasil pengamatan makrografi menunjukkan keausan *crankpin* berbentuk lubang-lubang (*pitting*), dan ketika diamati pada *cross-sectionnya* terdapat *crack* yang menunjukkan ciri-ciri dari *fatigue wear*. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa oksidasi internal pada permukaan *crankpin* gagal melebihi 14 μm , sehingga terbentuk inklusi kecil yang menjadi tempat awal terjadi retakan, sehingga ketahanan ausnya menurun. Pada daerah oksidasi internal, terbentuk HTTP (*High Temperature Transformation Product*), sehingga kekerasannya lebih rendah. Dan penyebab kegagalan *crankpin* sepeda motor 125 cc ini adalah akibat fenomena oksidasi internal dan HTTP.

REFERENSI

- H. Yamagata, *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines* (Woodhead Publishing Limited, England, 2005).
- R. G. Bayer, *Mechanical Wear Fundamentals and Testing Second Edition, Revised and Expanded* (Marcel Dekker, Inc, New York, 2004).
- ASM International Handbook Committee, *ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloy* (ASM International, 1990).

8 November 2017

ASM International Handbook Committee, *ASM Handbook Volume 4 Heat Treating* (ASMInternational, 1990).

C. Baldizzone, dkk., *Investigation of Failure in a Crankpin of a Motorcycle Engine*. (Milan, 2012).

L. C. F. Canale, dkk., *Failure Analysis of Heat Treated Steel Components* (ASM International, Ohio, 2008).

Analisis Kegagalan *Camshaft* Pada Sepeda Motor Berkapasitas 125 CC

Sri Nugroho^{1, a)}, Sulardjaka¹, & Saut Remanto¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

^{a)}srinugroho2004@yahoo.com

Abstract.

This study explains about the failure of camshaft on motorcycles with capacities of 125 cc that has been used for 3 years with a distance of 42,000 Km. This study explains about the failure of camshaft on motorcycles with capacities of 125 cc. The causes and mechanisms of failure were investigated in the laboratory testing: visual investigation, macrography, chemical composition, hardness, and micrography. Investigation visual and macrographic found pits (micropitting) in the surface of cam lobe which is characteristic of fatigue wear. Chemical composition test found differences in chemical composition between new and fail camshafts which is located on carbon and silicon elements can be represented by carbon equivalent. Carbon equivalent on the new camshaft 4.3 wt % and camshaft failed 4.6 wt %. The results of hardness testing at the surface of cam lobe with carbon equivalent 4.6 wt % is 38.5 HRC and carbon equivalent 4.3 wt % is 43 HRC. The result of the microstructure test on the camshaft failed at the surface cam lobe found graphite flake with matrix pearlite while in the new camshaft not occur graphitization with matrix cementite. This study concluded that the failure of camshaft on motorcycle with capacities 125 cc because phenomenon fatigue wear on the surface cam lobe due high carbon equivalent that resulted properties and structure of the material on the camshaft components are not in accordance with the standards that should.

Keywords: *camshaft, micropitting, carbon equivalent, fatigue wear, cam lobe.*

1. PENDAHULUAN

Pada zaman yang serba cepat ini, kendaraan menjadi salah satu kebutuhan manusia sebagai alat transportasi. Di kawasan Asia, Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah konsumen kendaraan terbesar. Menurut Kepala Korps Polisi Lalu Lintas, terdapat lebih dari seratus dua puluh juta kendaraan di Indonesia pada tahun 2016 dan sepeda motor merupakan kendaraan yang paling banyak digunakan, yaitu sekitar 71% dari total kendaraan di Indonesia.

8 November 2017

Pada kendaraan sepeda motor, terdapat tiga komponen utama yaitu komponen rangka, sistem mesin, dan sistem kelistrikan. Komponen sistem mesin yang paling umum diketahui adalah *crank case*, *cylinder block* (silinder blok), *cylinder head* (kepala silinder), piston, *ring* piston, *connecting rod* (batang piston), *crankshaft* (poros engkol), dan mekanisme katup. Material yang digunakan pada sistem mesin ini adalah besi cor dan aluminium. Namun karena sistem mesin ini melakukan kerja yang berat, komponen tersebut dapat mengalami kerusakan seperti aus atau retak. Hal ini menyebabkan kerja mesin menjadi tidak sempurna dan bisa menyebabkan mesin gagal bekerja.

Camshaft merupakan suatu komponen pada mesin yang berfungsi untuk menggerakkan katup *intake & exhaust* berdasarkan putaran *crankshaft* dengan kata lain komponen *camshaft* sebagai pengatur waktu pembukaan dan penutupan katup. Komponen *camshaft* mempunyai dua buah tonjolan (*cam*) yang memiliki karakteristik masing-masing. Pembukaan katup diatur oleh sentuhan profil *cam lobe* dengan *rocker arm* sehingga akan menyebabkan membuka dan menutupnya katup *intake* dan *exhaust*. [1].

Mekanisme kerja *camshaft* terbagi menjadi beberapa jenis, tergantung dari lokasi penempatan *camshaft* tersebut, diantaranya adalah : SOHC (*single overhead camshaft*) merupakan sebuah mekanisme yang menggunakan satu *camshaft* dalam kepala silinder (*cylinder head*) yang berfungsi untuk menggerakkan kedua katup yaitu *intake* dan *exhaust*, dalam mekanisme kerja *camshaft* tipe SOHC terdapat sebuah *rocker arm* untuk menggerakkan katup *intake* dan *exhaust*. Mekanisme kerja *camshaft* yang lainnya adalah DOHC (*double overhead camshaft*) merupakan sebuah mekanisme yang menggunakan dua buah *camshaft* dalam satu kepala silinder (*cylinder head*) dan tidak membutuhkan *rocker arm* untuk menggerakkan katup, katup digerakkan oleh valve lifter atau pengangkat katup. Pada jenis ini setiap *camshaft* mempunyai fungsi yang berbeda, satu *camshaft* berfungsi untuk menggerakkan katup masuk dan satu *camshaft* lagi untuk menggerakkan katup buang [2].

Komponen *camshaft* merupakan salah satu komponen penting dalam sistem motor bakar, sehingga *camshaft* harus mempunyai sifat yang tangguh (*tough*) di bagian poros serta kekerasan dan ketahanan aus yang baik pada bagian *cam lobe*. Material yang umumnya digunakan untuk pembuatan *camshaft* saat ini ada *chilled cast iron*. Dalam proses pembuatan komponen *camshaft* dengan menggunakan *chilled cast iron*, bagian *cam lobe* harus dilakukan proses *chill* yaitu

8 November 2017

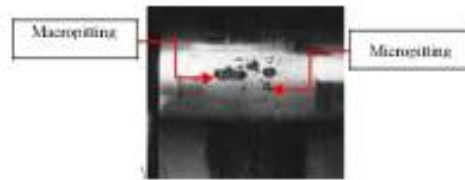
dengan cara menambahkan alat pendingin atau *chiller* yang di letakkan di bagian *cam lobe* sebelum dilakukannya proses penuangan logam cair kedalam cetakan. Struktur mikro *chilled cast iron* di bagian permukaan *cam lobe* terdapat struktur sementit dan perlit dan tidak terdapatnya grafit sehingga mempunyai kekerasan dan ketahanan aus yang baik sedangkan pada bagian poros *camshaft* terbentuknya grafit berbentuk serpih (*flake*) dan metode pengecoran yang digunakan merupakan *sand casting* dengan dikombinasikan dengan alat pendingin atau *chiller* [2].

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui mekanisme terjadinya kegagalan pada komponen *camshaft* sepeda motor 4 langkah. Pada kasus ini kegagalan terjadi pada bagian *cam lobe*. Kegagalan pada *cam lobe* biasanya terjadi akibat kelelahan dari material *camshaft*. Untuk mengetahui penyebab kegagalan dari material *camshaft*, dilakukan berbagai pengujian. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat mekanik, pengujian komposisi kimia, dan pengujian struktur mikro. Dari pengujian tersebut dapat diketahui nilai kekerasan dari *camshaft*, unsur penyusun *camshaft* dan struktur mikronya. Pengujian ini akan digunakan untuk mengetahui sifat-sifat material dan dari pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui penyebab kegagalan *camshaft* pada mesin berkapasitas 125 cc.

Terdapat beberapa fenomena kegagalan yang sering dijumpai pada komponen *camshaft* seperti *fatigue wear* atau keausan lelah pada material yang terjadi akibat adanya pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang melebihi batas kelelahan dari material, ditandai dengan munculnya bentuk lubang-lubang kecil (*micropitting*) [3]. Kegagalan lainnya yang sering terjadi pada komponen *camshaft* merupakan patah lelah atau *fatigue fracture* yang terjadi dikarenakan adanya pembebanan yang berlebihan, cacat dalam proses pengecoran seperti terdapatnya inklusi yang meningkatkan potensi terjadinya pengintian retakan dan perambatan retakan, dan bisa dikarenakan kedalaman *chill* saat proses pembuatan *camshaft* yang mana *chill* mempunyai sifat yang keras dan rapuh [4]. Salah satu contoh kegagalan *camshaft* berupa *fatigue wear* ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun kemungkinan penyebab kegagalan *fatigue wear* dapat dikarenakan sistem pelumasan yang kurang optimal yang mana lapisan pelumas tidak memisahkan kedua permukaan secara sempurna dan mengakibatkan terjadinya kontak antara *cam lobe* dengan *roller follower* yang menyebabkan permukaan mengalami deformasi sehingga timbulnya lubang (*pitting*).

8 November 2017

Hal ini juga dapat disebabkan karena sifat dan struktur material tidak sesuai dengan standar.



GAMBAR 1. *Micropitting* dan *macropitting* [3].

2 MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah komponen *camshaft* sepeda motor 125 cc yang telah mengalami kegagalan dan yang masih baru. Metode penelitian yang dilakukan untuk bisa menginvestigasi mekanisme dan penyebab kegagalan *camshaft*. Untuk mencapai tujuan ini investigasi lapangan dan pendekatan eksperimen di tingkat laboratorium dilakukan untuk mengungkap bukti-bukti yang terkait dengan kegagalan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengamatan visual, makrografi, komposisi kimia, kekerasan, dan mikrografi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengamatan Visual

Pengamatan visual merupakan salah satu metode dalam analisis kegagalan. Metode ini bertujuan untuk melihat bentuk fisik dari material yang mengalami kegagalan serta karakteristik yang terjadi. Pada kasus ini komponen *camshaft* sepeda motor 125 cc mengalami kegagalan setelah pemakaian selama 3 tahun dengan jarak tempuh ± 42.000 Km. Kronologi peristiwa awal terjadinya kegagalan adalah ketika sepeda motor dihidupkan terdengar suara bising pada *cylinder head* dan sepeda motor sulit untuk dihidupkan. Penggunaan terus dilakukan hingga akhirnya dilakukan pergantian komponen baru. Untuk mengetahui secara pasti kegagalan yang dialami oleh *camshaft*, maka dilakukan analisis berdasarkan hasil pengamatan *visual* untuk mendapatkan suatu hipotesis yang dibuktikan dengan pengujian komposisi kimia, pengujian struktur mikro, pengujian makrografi dan pengujian kekerasan. Pada Gambar 3 terlihat jelas *camshaft* mengalami kerusakan dibagian *cam lobe*, dengan kerusakannya berupa aus pada sebagian permukaannya. Keausan pada permukaan ini adalah akibat gesekan antara *cam lobe* dengan *rocker arm* yang terdapat pada kepala silinder.

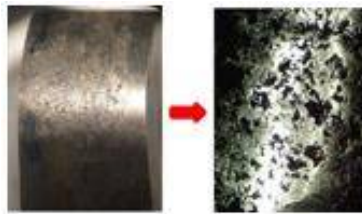
8 November 2017



GAMBAR 3. Letak kegagalan komponen *camshaft* di bagian *cam lobe*

3.2 Hasil Pengujian Makrografi

Berdasarkan pengamatan makrografi yang telah dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 1x, keausan tampak seperti lubang-lubang kecil (*micropitting*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang merupakan ciri dari *fatigue wear*. Keausan ini menyebabkan terbentuknya retakan tepat dibawah permukaan pada bagian yang terdeformasi, kemudian retak tersebut merambat ke permukaan dan menghilangkan partikel-partikel di permukaan, yang terlihat seperti lubang-lubang kecil. Untuk melihat retakan ini, dilakukan pengujian mikroskop dengan mengamati *cross-sections* dari bagian yang aus, seperti pada Gambar 5. *Fatigue wear* terjadi akibat keretakan yang semakin berlanjut dimana kegagalan pada lapisan permukaan karena adanya pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang melebihi batas kelelahan dari material. Seiring waktu dan adanya pembebanan berulang, lubang akan berkembang yang mengakibatkan lubang akan menjadi lebih besar dan lubang-lubang yang terjadi akan semakin banyak.



GAMBAR 4. Permukaan *cam lobe* yang mengalami *fatigue wear*



GAMBAR 5. *Cross-sections* dari bagian *camshaft* yang aus.

8 November 2017

3.3 Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia *camshaft* baru dan gagal ditunjukkan pada Tabel 1. Material *camshaft*, baik yang baru maupun yang gagal, masuk dalam klasifikasi *grey cast iron G4000d* dikarenakan semua unsur komposisinya relatif sama.

TABLE 1. Komposisi kimia *camshaft* (wt%)

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
<i>Camshaft Gagal</i>	92,24	4,009	1,951	0,590	0,1	-	0,502	0,208
<i>Camshaft Baru</i>	92,56	3,681	1,803	1,803	0,1	-	0,587	0,211
G4000d	<i>bal.</i>	3,10- 3,60	1,95- 2,40	0,6 - 0,90	0,1 max	0,15 max	0,85- 1,25	0,40- 0,60

Hasil dari pengujian antara *camshaft* gagal dan baru menunjukkan bahwa unsur utamanya adalah Fe yang masing-masing sebesar 92,24 wt% dan 92,56 wt% dan unsur-unsur paduan yang dominan adalah C, Si dan Mn yang masing-masing sebesar 4,009 wt%, 1,951 wt% dan 0,590 wt% pada *camshaft* gagal dan pada *camshaft* baru 3,681 wt%, 1,803 wt% dan 0,660 wt%. Kandungan unsur yang memberikan pengaruh besar pada material besi cor adalah karbon, silikon, dan mangan sedangkan unsur-unsur lain cenderung konstan dan bernilai tetap sehingga tidak memberikan pengaruh yang berarti.

Setelah nilai karbon dan silikon didapatkan dari pengujian komposisi kimia menggunakan alat spectrometer, maka nilai karbon dan silikon ini dapat diwakili oleh nilai *carbon equivalent* (%CE) dengan rumus :

$$CE = \% C + \frac{\% S + \% P}{3}$$

Dari rumus diatas didapatkan adanya perbedaan nilai *carbon equivalent* antara *camshaft* baru dan gagal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

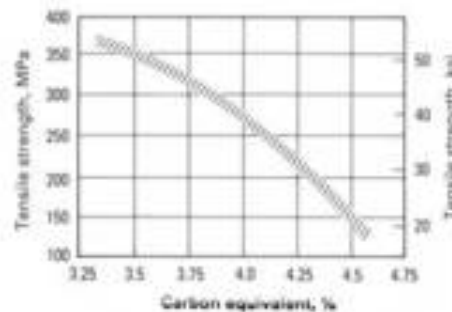
TABLE 2. *Carbon equivalent* (% CE) pada komponen *camshaft*.

Komponen	Komposisi Kimia			%CE
	C	Si	P	
<i>Camshaft gagal</i>	4,009	1,951	0,1	4,6
<i>Camshaft baru</i>	3,681	1,803	0,1	4,3

Dari hasil perhitungan nilai *carbon equivalent* (CE), *camshaft* gagal mempunyai nilai *carbon equivalent* (CE) sekitar 4,6 wt % yang menunjukkan kandungan karbon dan silikon yang lebih tinggi dari komposisi eutektik (hipereutektik) dan pada *camshaft* baru nilai *carbon equivalent* (CE) sekitar 4,3 wt% yang merupakan paduan pada titik eutektik sementara nilai

8 November 2017

carbon equivalent yang diisyaratkan atau sering digunakan untuk pembuatan *camshaft* sekitar 4,0-4,3 wt %. Terdapatnya perbedaan nilai *carbon equivalent* (CE) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik khususnya kekerasan. Pada Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin tinggi *carbon equivalent* dalam besi cor akan menyebabkan turunnya kekuatan dan kekerasan besi cor. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai *carbon equivalent* (CE) maka jumlah grafit yang dihasilkan semakin banyak sehingga kekerasan semakin rendah dan sebaliknya semakin rendah *carbon equivalent* (CE), semakin besar kecenderungan besi membentuk struktur putih dan mottled cast iron [6]. Pada kasus ini perlu dilakukannya pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi untuk mengetahui pengaruh nilai *carbon equivalent* (CE) terhadap sifat dan struktur material *camshaft* sepeda motor 125 cc.



Gambar 7. Grafik pengaruh nilai *carbon equivalent* (CE) terhadap tensile strength [6]

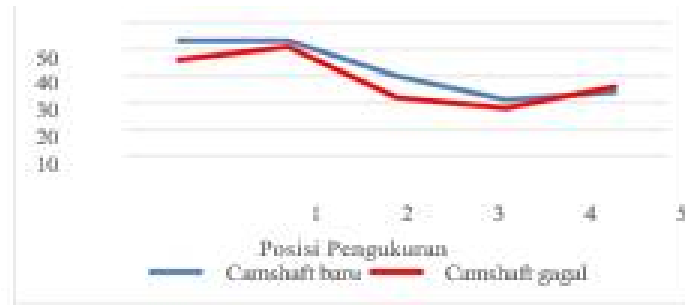
3.4 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester* Model HR-150A skala C (HRC) dengan pembebanan 150 kgf dan menggunakan pendonor diamond. Pengujian *rockwell* dilakukan pada bagian *cam*, dimana pengukuran kekerasan dilakukan pada 5 titik. Titik 1 dan 2 terletak pada bagian permukaan *cam* (*cam lobe*) dan titik 3, 4, dan 5 terletak di bagian tengah *cam* (*core cam*).



GAMBAR 8. Titik-titik pengujian kekerasan *Rockwell* pada *camshaft*, (a) *camshaft* baru, (b) *camshaft* baru

8 November 2017



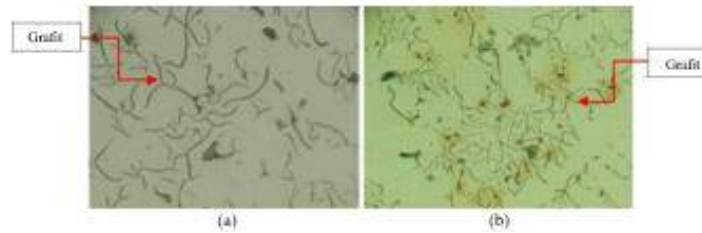
GAMBAR 9. Grafik kekerasan terhadap posisi pengukuran di bagian cam.

Berdasarkan grafik diatas dari hasil uji kekerasan metode *rockwell*, didapatkan bahwa nilai kekerasan pada komponen *camshaft* gagal di bagian permukaan *cam lobe* jauh lebih kecil dibandingkan pada komponen *camshaft* baru. Dari data diatas nilai kekerasan yang didapatkan menunjukkan penurunan yang signifikan seiring dengan bertambahnya nilai *carbon equivalent* (CE). Nilai CE berbanding terbalik dengan angka kekerasan yang mana semakin tinggi nilai *carbon equivalent* maka kekerasan akan semakin menurun dan sebaliknya rendahnya nilai *carbon equivalent* kekerasan akan semakin tinggi. Hal ini banyak dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur mikro yang cenderung membentuk matrik ferrit atau perlit. Nilai kekerasan pada komponen *camshaft* gagal di bagian core cam mempunyai rata-rata kekerasan 22 HRC dan pada *camshaft* baru mempunyai rata-rata kekerasan 25 HRC sedangkan pada *camshaft* gagal bagian *cam lobe* nilai kekerasan 38,5 HRC dan pada *camshaft* baru 43 HRC dimana nilai kekerasan standar pada komponen *camshaft* pada bagian tengah *cam lobe* sekitar 25-34 HRC dan bagian permukaan *cam lobe* 40-45 HRC. Dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada *camshaft* gagal sudah tidak masuk standar dan untuk mengetahui penurunan nilai kekerasan dapat dilihat dari struktur mikro yang terdapat pada komponen *camshaft* dengan melakukan pengujian mikrografi [2].

3.5 Hasil Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi pada *camshaft* dilakukan dengan etsa dan tanpa etsa dimana proses tanpa etsa dimaksudkan untuk mengetahui jumlah dan bentuk grafit. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro yang diperoleh tanpa etsa pada bagian tengah *cam lobe* menunjukkan komponen *camshaft* gagal dan *camshaft* baru memiliki grafit tipe A namun adanya perbedaan yang terlihat dari jumlah grafit. Hal ini dikarenakan semakin tingginya nilai *carbon equivalent* maka akan menghasilkan jumlah grafit yang lebih banyak

8 November 2017

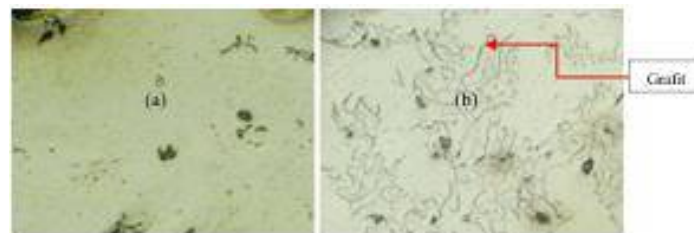


Gambar 10. Struktur mikro *camshaft* bagian tengah *cam lobe* (Non etsa, 200x) (a) *camshaft* baru,

(1) *camshaft* gagal.

Hasil pengamatan mikrografi tanpa etsa di bagian permukaan *cam lobe*, terdapat perbedaan antara *camshaft* gagal dan *camshaft* baru. Pada *camshaft* gagal terbentuknya grafit berbentuk *flake* pada struktur mikronya sedangkan pada *camshaft* baru tidak terbentuknya grafit atau tidak terjadinya grafitisasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar

3. Perbedaan struktur mikro tersebut disebabkan oleh perbedaan laju pendinginan (*cooling rate*) dan nilai *carbon equivalent* (CE). Dimana semakin rendah nilai *carbon equivalent* dan semakin cepat laju pendinginan cenderung akan menghasilkan struktur besi cor putih yang tidak memiliki grafit pada struktur mikronya.



Gambar 11. Struktur mikro *camshaft* bagian permukaan *cam lobe* (Non etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

2. *camshaft* gagal.

Hasil pengujian struktur mikro yang diperoleh dengan etsa menggunakan nital 2% menunjukkan bahwa komponen *camshaft* baru dan *camshaft* gagal di bagian tengah *cam lobe* memiliki jenis grafit yang sama namun adanya perbedaan yang terlihat pada matriksnya. *Camshaft* gagal cenderung membentuk struktur *ferritic grey cast iron* atau grafit dikelilingi matriks ferrite (putih) sedangkan *camshaft* baru cenderung membentuk struktur *pearlitic grey cast iron* atau grafit dikelilingi matriks pearlite (gelap).

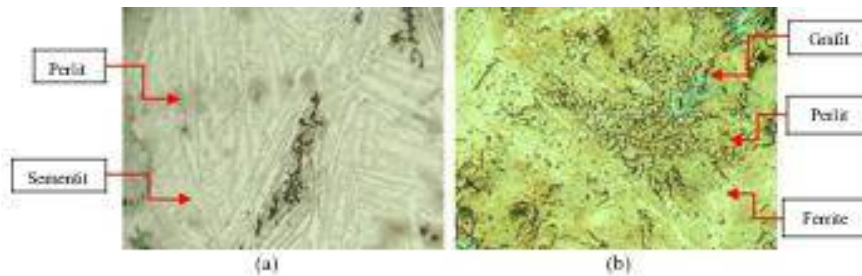
8 November 2017



Gambar 12. Struktur mikro *camshaft* bagian core cam (Etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

3. *camshaft* gagal.

Hasil pengujian *camshaft* baru di bagian permukaan *cam lobe*, tidak ditemukannya grafit dalam struktur mikronya atau tidak terjadinya grafitisasi, hal ini sama seperti yang ditunjukkan dari hasil pengujian tanpa etsa dan pada refrensi di bagian yang sama. Dimana terdapatnya matriks sementit (putih) yang mempunyai kekerasan yang tinggi dan memiliki sifat tahan aus (*wear resistance*) yang baik dan pada *camshaft* gagal pada bagian permukaan *cam lobe* ditemukan terdapatnya grafit pada struktur mikronya yang diikuti dengan matriks perlit (gelap).



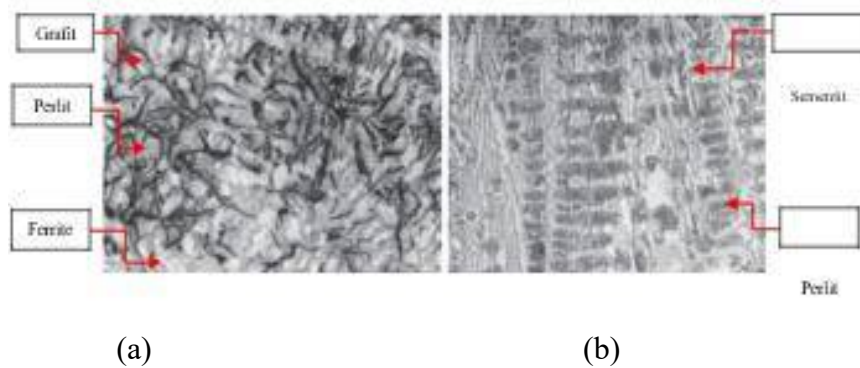
Gambar 12. Struktur mikro *camshaft* bagian *cam lobe* (Etsa, 200x), (a) *camshaft* baru,

4. *camshaft* gagal.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan pada *camshaft* baru lebih tinggi dikarenakan keberadaan matriks sementit dan tidak terbentuknya grafit pada struktur mikronya dan terbentuknya grafit pada *camshaft* gagal menyebabkan kekerasan pada material akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan laju pendinginan dan nilai *carbon equivalent* (CE) yang mempengaruhi sifat dan strukturnya. Gambar 13 menunjukkan hasil pengujian struktur mikro yang dilakukan oleh Yamagata pada komponen *camshaft* dibagian *cam lobe*. Hasil pengujian tersebut menjelaskan bahwa di bagian *cam lobe* terdapat dua jenis besi cor berdasarkan struktur mikronya. Terdapatnya struktur mikro besi cor putih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 (b), struktur mikro tersebut terletak pada bagian permukaan *cam lobe* yang mempunyai kekerasan yang tinggi dan ketahanan aus yang baik dikarenakan

8 November 2017

terdapatnya matriks sementit dan terdapatnya struktur mikro besi cor kelabu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 (a), struktur mikro tersebut terletak pada bagian tengah (*core*) yang mempunyai sifat tangguh dikarenakan kehadiran matriks perlit.



Gambar 13. Hasil uji mikrografi, (a) Struktur mikro *camshaft* pembanding bagian *core cam*, (b) Struktur mikro *camshaft* pembanding bagian *cam lobe* [2].

4 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan keausan pada *camshaft* berbentuk lubang-lubang kecil (*micropitting*) pada permukaan *cam lobe*. Ketika dilakukan pengamatan pada *cross-section* bagian ausnya, terdapat *crack* yang menunjukkan ciri dari *fatigue wear*. Penyebab kegagalann *camshaft* sepeda motor 125 cc dikarenakan fenomena *fatigue wear* pada bagian permukaan *cam lobe* yang terjadi akibat tingginya *carbon equivalent* yang mengakibatkan sifat dan struktur material pada komponen *camshaft* tidak sesuai dengan standar yang seharusnya. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai *carbon equivalent* grafit berbentuk *flake* yang dihasilkan semakin banyak dengan matriks perlit. Komposisi kimia dengan CE 4,3 % merupakan komposisi terbaik, yakni memiliki nilai kekerasan dan struktur mikro yang telah memenuhi standar untuk komponen *camshaft*

REFERENSI

1. Wanjari, R. V and Parshivanikar, T. C. (2013) '*Failure of Camshaft*', International Journal of Innovative Technology & Exploring Engineering (IJITEE).
2. Yamagata, H. (2005) The science and technology of materials in automotive engines. England: Woodhead Publishing and Maney Publishing.
3. Geehan, J. A. M. and Ryason, P. R. (2000) '*Preventing Catastrophic Camshaft Lobe Failures in Low Emission Diesel Engines*', SAE International Journal.
4. Ping, L., Fengjun, L., Anke, C. and Bokang, W. (2009) '*Fracture analysis of chilled cast iron camshaft*', China Foundry Journal, Huazhong University of Science and Technology.
5. ASM team (2005) *ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection : Irons , Steels, and High Performance Alloys*, ASM International.
6. Sadino, Farid, M. and Triar, H. A. (2010) '*Pengaruh Karbon Dan Silikon (Carbon Equivalent) Terhadap Pembentukan Cacat Shrinkage Pada Proses Pembuatan Besi Cor Nodular FCD 450 (Produk Elastic Shoulder)*', Jurnal Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Analisis Kekerasan Coran Paduan Aluminium Dengan Paduan Zn Dari Silinder Roll

Fotocopy Dengan Cetakan Logam

Indreswari Suroso ¹⁾

¹⁾Program Studi Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Yogyakarta

Abstrak

Pengecoran logam adalah proses produksi untuk membentuk sebuah coran dengan jalan menuang logam cair panas kedalam cetakan kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Cetakan logam adalah cetakan yang digunakan satu kali cor menghasilkan banyak coran sehingga produktivitasnya tinggi dan ekonomis cocok dan cocok untuk benda berukuran kecil.

Bahan asli lug alat pengencang membran pada alat musim drum adalah paduan Zn, sedangkan bahan coran yang digunakan adalah coran aluminium dengan menggunakan cetakan logam, pengujian kekerasan menggunakan kekerasan Vickers.

Hasil pengujian kekerasan Vickers bahwa coran lug paduan Al lebih keras 93 VHN dibandingkan dengan lug asli paduan Zn nilai kekerasannya 66 VHN. Hasil pengujian kekerasan material bahwa diameter butiran Zn lebih besar dibandingkan butiran Aluminium. Semakin besar diameter butiran maka kekerasan material semakin rendah dan bersifat lunak. Semakin kecil diameter butiran maka kekerasan material semakin tinggi dan bersifat getas. Hal ini disebabkan diameter butiran aluminium lebih kecil dibandingkan diameter butiran Zn.

Kata kunci : cetakan logam, pengecoran aluminium, casting, kekerasan

Pendahuluan

Lug adalah alat pengencang pada drum, terbuat dari paduan Zn sehingga penelitian ini mencoba pembuatan lug dari paduan aluminium agar lebih ringan, tahan korosi, dan mudah diproduksi. Cara pembuatan lug ini dengan cara pengecoran logam, dengan bahan coran adalah paduan Al dan cetakan coran berasal dari cetakan logam. Pengecoran logam adalah proses produksi untuk membentuk sebuah coran dengan jalan menuang logam cair panas kedalam cetakan kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Cetakan logam adalah cetakan yang digunakan satu kali cor menghasilkan banyak coran sehingga produktivitasnya tinggi dan ekonomis cocok dan cocok untuk benda berukuran kecil.

8 November 2017

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah: (1) Apa pengaruh diameter butiran coran terhadap kekerasan coran? (2) Bagaimana hasil kekerasan antara lug asli paduan Zn dengan coran lug paduan Al? Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh diameter butiran coran terhadap kekerasan coran dan untuk mengetahui bentuk butir dan struktur mikro dari hasil coran.

Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

Aluminium (Al) merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Aluminium biasa dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Dalam mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan dengan unsur Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan unsur lain [1]. Berikut ini sifat-sifat fisis aluminium seperti pada Tabel 1. Sifat fisis aluminium sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat-sifat Fisis Aluminium

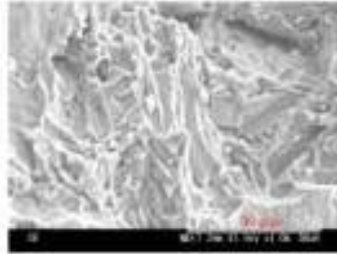
No	Sifat Sifat Fisis	Kemurnian Aluminium (%)	
		99.996	>99
1	Massa Jenis (20°C)	2.6989	2.71
2	Titik Cair	660.2	653-657
3	Panas Jenis (cal/gr.C) (100gr)	0.2126	0.2197
4	Hantaran Listrik (%)	64.94	59(diamil)
5	Tahanan listrik koefisien temperatur(°C)	0.00429	0.0113
6	Koefisien Pemuai (20-100°C)	23.86×10^{-6}	23×10^{-6}
7	Jenis kristal, konstanta kisi	FCC, a=4.013 Å	FCC, a= 4.04 Å

(Sumber: Tata Surdia)

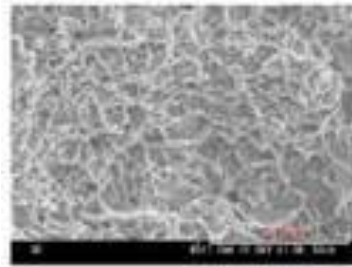
Pada cetakan pasir, selain gas hidrogen yang terlarut didalam aluminium cair, terdapat juga zat-zat organik yang tercampur didalam pasir. Zat-zat organik ini akan membentuk gas pada saat pasir bersentuhan dengan logam cair. Sedangkan cetakan logam relatif lebih bersih dari zat-zat pembentuk gas. Cetakan logam memberikan sifat yang baik pada logam cor aluminium karena cacat akibat porositas lebih sedikit daripada jenis cetakan yang lainnya serta kekerasan yang paling tinggi. Cetakan pasir akan memberikan sifat yang lebih ulet pada logam cor aluminium, namun cacat porositas sedikit lebih banyak daripada cetakan logam seperti pada gambar 1 dan 2 adalah gambar struktur mikro coran Al dengan cetakan pasir dan cetakan logam. Logam yang dicor adalah aluminium. Analisa data menunjukkan bahwa cacat cor yang paling banyak terdapat pada spesimen yang menggunakan cetakan semen, dan yang paling sedikit adalah pada spesimen yang menggunakan cetakan logam.

8 November 2017

Sebaliknya kekerasan yang paling tinggi adalah pada cetakan logam dan yang paling rendah adalah pada cetakan semen. Sedangkan kualitas produk cor aluminum yang menggunakan cetakan pasir dan keramik berada diantara cetakan pasir dan cetakan keramik [3].



Gambar 1. Struktur mikro coran Al menggunakan cetakan pasir



Gambar 2. Struktur mikro coran Al menggunakan cetakan logam

Landasan Teori

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan setelah logam cair memenuhi rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan diangkat dan hasil cor diambil [2].

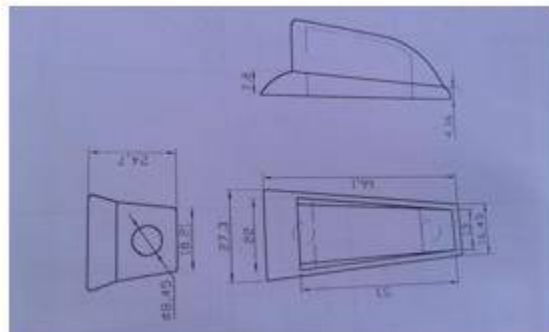
Hasil coran yang berkualitas menghasilkan pola yang berkualitas tinggi, baik dari segi konstruksi, dimensi, material pola, dan kelengkapan lainnya. Pola digunakan untuk memproduksi cetakan. Cairan logam tersebut membeku karena proses pendinginan setelah cairan membeku, cetakan dibongkar. Pasir cetak, inti, dan benda tuang dipisahkan, pasir cetak bekas masuk ke instalasi daur ulang, inti bekas dibuang, dan benda tuang diberikan ke bagian *finishing* untuk dibersihkan dari kotoran dan dilakukan pemotongan terhadap sistem saluran pada benda tersebut setelah *finishing* selesai apabila benda perlu perlakuan panas maka diproses di bagian perlakuan panas.

8 November 2017

Material cetakan produk cor mempunyai sifat dan karakter sendiri, seperti: permeabilitas, kekuatan tekan, dan konduktivitas panas. Sifat-sifat ini sangat berpengaruh terhadap kualitas produk cor.[4] Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan bahan cetakan: logam, pasir, keramik, dan semen. Lug asli paduan Zn seperti pada gambar 3 dan dimensi dari lug pengencang membran dari alat musik drum seperti pada gambar 4.



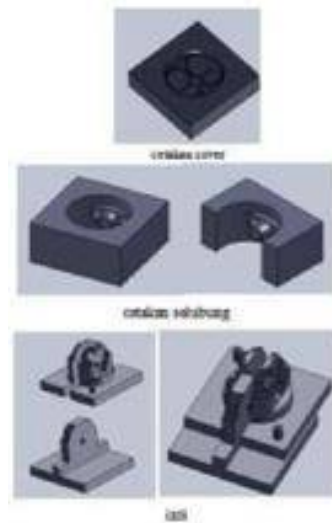
Gambar 3. Lug Asli Paduan Zn Pengencang Membran Pada Drum



Gambar 4. Dimensi Lug Pengencang Membran Pada Drum

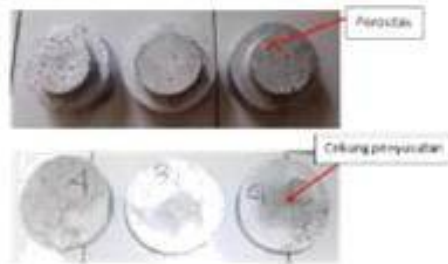
Dalam desain cetakan die casting, kesesuaian arah aliran gas dan arah aliran logam cair merupakan aspek dominan untuk mencegah terjadinya cacat terjebaknya gas. Desain saluran tuang dari samping merupakan metode yang optimal untuk mencegah terjadinya cacat tersebut, konstruksi cetakan piston tunggal dan metode pemanasan cetakan dari samping, temperatur optimal cetakan dicapai pada 320°C. Pada pemanasan cetakan yang lebih tinggi, cacat porositas dominan terjadi pada sisi permukaan maupun pada bagian bawah cover, bila temperatur cetakan di bawah 300°C, cacat pertemuan dingin akan terjadi terutama di lokasi berdinding tipis. Berikut ini gambar 5 Cetakan die casting terbuat dari baja karbon [6].

8 November 2017



Gambar 5. Cetakan *die casting* yang terbuat dari bahan baja karbon.

Komposisi Al 78,13% +Fe 12%+ Si 83%+ Mg 2.99% dengan paduan Al alloy dengan paduan Si+Mg termasuk seri 5xxx, hasil coran seperti pada gambar 6.



Gambar.6 Hasil Coran Komposisi Al 78,13% +Fe 12%+ Si 83%+ Mg 2.99%

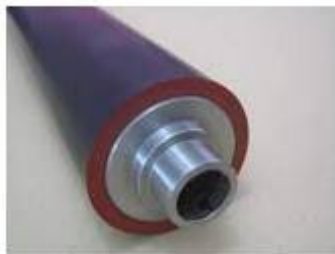
Pengaruh paduan Fe 12% terhadap porositas yang terjadi pada spesimen A, B, dan C adalah 2.766 gr/cm^3 dan terjadi penyebaran unsur Fe, Si, dan Mg secara merata tetapi untuk spesimen C unsur Fe dan Si bersenyawa, sedangkan unsur Al dan Mg bersenyawa terpisah.[7]

Cacat coran merujuk kekarakteristiknya yang tercipta suatu kekurangan atau tak-sempurna melampaui batas kualitas ditentukan oleh kondisi rancangan dan kondisi layanan. Cacat coran dapat dibagi terutama dalam tiga kelompok. 1) Cacat sangat berat atau cacat major, yaitu cacat hasil dalam scrapping coran. Penetrasi logam dan permukaan kasar yang harus melibatkan operasi pemesinan dan operasi finishing; dan coran yang gagal memperoleh fisik diperlukan ataupun keperluan fungsinya. 2) Cacat menengah; Cacat menghasilkan dalam biaya perbaikan yang tinggi, tetapi coran aman dari kerusakan. 3). Cacat ringan; membolehkan coran mudah dan ekonomis diperbaikinya.[8]

8 November 2017

Hasil penelitian yang diperoleh, nilai fluiditas paling tinggi terdapat pada spesimen coran yang menggunakan campuran lumpur lapindo sebesar 7% yaitu 793,50 mm dari pola sebenarnya yaitu 200 mm. Sedangkan yang paling rendah terdapat pada spesimen coran yang menggunakan campuran lumpur lapindo sebesar 13% yaitu 748,80 mm dari pola sebenarnya yaitu 200 mm. Tingkat ke-kerasan tertinggi terdapat pada spesimen coran yang menggunakan campuran lumpur lapindo sebesar 15% dengan rata-rata nilai kekerasan 131,36 HV. Sedangkan yang paling rendah kekerasannya terdapat pada spesimen campuran lumpur lapindo 7% dengan rata-rata nilai yaitu 118,16 HV. Dari hasil analisa cacat cor secara kasat mata menunjukkan bahwa spesimen coran yang menggunakan campuran lumpur lapindo sebesar 15% memiliki cacat cor yang paling sedikit dan paling kecil bila dibandingkan dengan spesimen lainnya. Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa lumpur lapindo dapat menjadi kandidat terbaik pengganti bahan pengikat bentonit pada pengecoran pasir (*sand casting*) karena memiliki kecekatan yang baik untuk bahan pengikat.[9]

Dalam penelitian ini benda kerja yang digunakan sebanyak 27 buah yang akan mendapatkan perlakuan berbeda dalam proses pengerjaannya, yaitu dengan variasi komposisi bahan paduan aluminium dan waktu proses peleburan aluminium serta waktu proses pendinginan aluminium. Kemudian dari ke 27 benda kerja tersebut masing-masing benda kerja ditentukan 3 titik untuk dilakukan uji kekasaran dan 3 titik untuk dilakukan uji kekerasan. Hasil kekasaran permukaan aluminium terbaik atau terendah adalah (10,83 μm) yang diperoleh dari komposisi paduan (25% piston bekas + 75% aluminium remelting), waktu peleburan paling lama (30 menit), dan waktu pendinginan paling cepat (05 menit). Sedangkan kekerasan aluminium terbaik atau tertinggi adalah (22,73 kg/mm^2) yang diperoleh dari komposisi paduan (25% piston bekas + 75% aluminium remelting), waktu peleburan tercepat (20 menit), waktu pendinginan tercepat (05 menit). [10]



Gambar 7. Silinder roll fotocopi

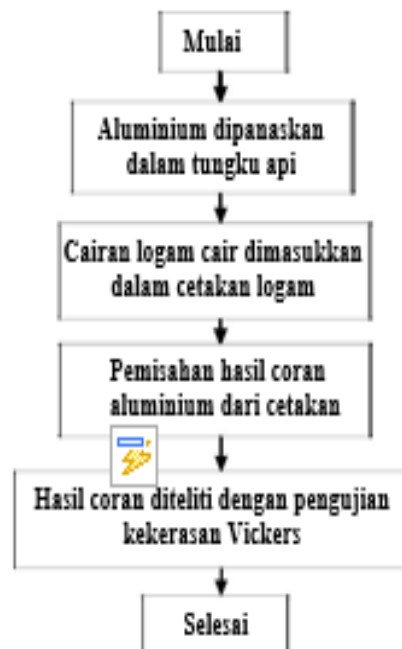
8 November 2017

Drum dengan bentuk silinder merupakan bagian penting yang terletak di tengah-tengah bagian dalam mesin fotocopi. Bentuk benda ini adalah silinder, dengan dilapisi selenium yang akan menghasilkan daya tarik magnet bila di aliri arus listrik seperti pada gambar 7. Pada penelitian ini bahan yang digunakan untuk bahan coran adalah silinder *roll* fotocopi.

Metode Penelitian

Alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain cetakan logam, alat uji kekerasan Vickers. Bahan penelitian yang digunakan adalah lug asli paduan Zn dan Coran dari paduan Al.

Cara kerja penelitian ini adalah a) bahan coran Al dimasukkan dalam dapur pengecoran, b) logam cair bahan coran Al dari silinder roll fotocopi dituangkan dalam cetakan logam, c) cairan logam ditunggu sampai membeku, lalu diangkat dan dipisahkan dari cetakan, d) hasil coran diteliti menggunakan alat uji kekerasan Vickers. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar. 8 Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Vickers (VHN)

8 November 2017

Uji Kekerasan Vickers menggunakan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaan piramida intan yang saling berhadapan adalah 136° .

Rumus Pengujian Vickers:

$$\text{VHN} = 1.854 \frac{P}{D^2}$$

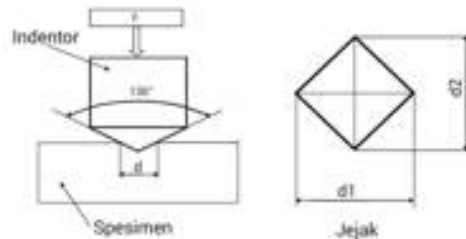
Dengan :

VHN = Nilai kekerasan Vickers (VHN)

P = Beban (kgf)

D = Diagonal (m)

Berikut ini adalah gambar 9. Adalah gambar proses ilustrasi pengujian kekerasan Vickers.



Gambar.9 Proses Ilustrasi Pengujian Kekekranan Vickers

Hasil pengujian kekerasan menggunakan alat uji Vickers menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers pada lug asli paduan Zn

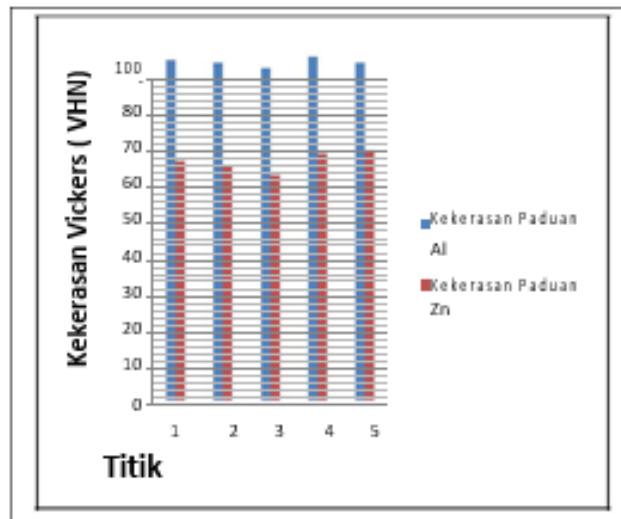
Titik	D1(mm)	D2(mm)	D rata-rata	Harga Kekerasan (VHN)
1	1.34	1.27	1.325	65.99
2	1.34	1.30	1.340	64.52
3	1.34	1.35	1.365	62.20
4	1.34	1.27	1.305	68.04
5	1.33	1.26	1.295	69.01
Rata-rata Harga Kekerasan				66

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers pada lug coran paduan Al

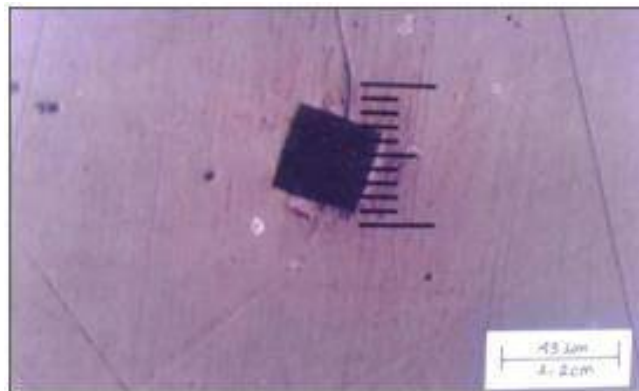
Titik	D1(mm)	D2(mm)	D rata-rata	Harga Kekerasan (VHN)
1	1.12	1.10	1.11	94.05
2	1.12	1.11	1.115	93.21
3	1.13	1.12	1.125	91.60
4	1.11	1.10	1.105	94.9
5	1.12	1.11	1.115	93.21
Rata-rata Harga Kekerasan				93

8 November 2017

Hasil pengujian kekerasan menggunakan pengujian kekerasan Vickers bahwa hasil rata-rata pengujian kekerasan lug paduan Aluminium adalah 93 VHN lebih keras dari lug asli paduan Zn adalah 66 VHN. Grafik perbandingan kekerasan coran lug Al dan paduan Zn seperti gambar 10 dan gambar penetrator Kekerasan Vickers 43 μ m perbesaran 200 kali seperti pada gambar 11.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Kekerasan Vickers Paduan Al dan Paduan Zn



Gambar. 11 Penetrator Kekerasan Vickers 43 μ m perbesaran 200 kali

Struktur mikro coran lug paduan Aluminium dengan lug asli paduan Zn bahwa struktur butiran Zn lebih besar dibandingkan butiran coran lug paduan Al. Sesuai rumus Hull, D., dan Bacon, D.J., [5]:

$$T_y = T_t + k \cdot D^{-1/2}$$

dengan : T_y = Tegangan luluh (kg/mm^2)

8 November 2017

Tt	=	Tegangan gesekan (kg/mm^2)
K	=	Parameter pengancing
D	=	Diameter butir (mm)

Hasil pengujian struktur mikro pengecoran lug mengandung 99,9% Al menunjukkan pada paduan ini aluminium sangat dominan bahkan mendekati aluminium murni sehingga dalam gambar unsur silikon sangat kecil. Hasil pengujian struktur mikro bahwa diameter butiran Zn lebih besar dibandingkan butiran Aluminium. Semakin besar diameter butiran maka kekerasan material semakin rendah dan bersifat lunak. Semakin kecil diameter butiran maka kekerasan material semakin tinggi dan bersifat getas. Kekerasan coran lug paduan Al lebih tinggi dibanding lug asli paduan Zn hal ini disebabkan diameter butiran aluminium lebih kecil dibanding diameter butiran Zn.

Kesimpulan

1. Semakin besar diameter butiran maka kekerasan material semakin rendah dan bersifat lunak. Semakin kecil diameter butiran maka kekerasan material semakin tinggi dan bersifat getas. Kekerasan coran lug paduan Al lebih tinggi dibanding lug asli paduan Zn. Hal ini disebabkan diameter butiran aluminium lebih kecil dibandingkan diameter butiran Zn.
2. Hasil pengujian kekerasan Vickers bahwa coran lug paduan Al lebih keras 93 VHN dibandingkan dengan lug asli paduan Zn nilai kekerasannya 66 VHN.

8 November 2017

Daftar Pustaka

1. T. Surdia dan K. Chijiwa, *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1991.
2. Supriyanto, Analisis Hasil Pengecoran Aluminium dengan Variasi Media Pendingin, *Janateknika*, Vol.11, No.2, Juli 2009
3. D. Prastiwi, Hubungan jenis cetakan terhadap kualitas produk cor aluminium, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*, Universitas Gadjah Mada (UGM), 2012.
4. Sugeng.S., dkk, Karakteristik Pasir Silika Bekas Inti Cor melalui Proses Daur Ulang Dengan Pengikat Senyawa Resin Alami, *SINTEK*, Vol. 10, No.1, ISSN:2088-9038. 2016
5. Hull, D., dan Bacon, D.J., 2001. *Introduction to Dislocations*. 4th.edn. Butterwoods Heinemann Oxford, UK
6. Widyanto, S., dkk. Optimasi Desain Cetakan Die Casting untuk Menghilangkan Cacat Coran pada Kasus Pengecoran Piston Aluminium. *Jurnal ROTASI*. Vol.13. No.4. Oktober 2011. pp.1-5 Sumpena. Pengaruh Paduan Serbuk Fe 12% Pada Aluminium Terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode Gravity Casting. *Jurnal ENGINE*. Vol.1. Mei 2017. Pp.20-25. 2-ISSN: 2579-7433
7. Suhayat, D. Analisis Cacat Coran Logam pada Cetakan Ekspendebel. *Jurnal TORSI*. Vol.II. No.2. Juli 2009
8. Puspitasari, P. dkk. Analisis Hasil Pengecoran Logam Al-Si Menggunakan Lumpur Lapindo sebagai Pengikat Pasir Cetak. *Jurnal Teknik Mesin*. Tahun 22. No.2. Oktober 2004. pp. 1-11
9. Aprilianto, P. Analisis Variabel Proses Produk Pengecoran Logam Menggunakan Cetakan Sand Casting. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.2. No.02. 2014

8 November 2017

Pengaruh Persen Reduksi Dan Temperatur Anil Terhadap Kinetika Rekristalisasi Dan Kekerasan Baja Lembaran Karbon Rendah Pada Proses *Continuous Annealing Line (CAL)*

Yeni Muriani Zulaida,^{1, b)} Firman Adiyatma^{1, a)}, & Muhammad Fitrullah,^{1, c)}

¹Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.

a) adiyatmafirman@gmail.com b) yeni_m_zulaida@untirta.ac.id c) moehe.fitrullah@gmail.com

Abstract.

The Application of products using raw material made from cold rolled and annealed low carbon sheet steel are very common, such as the building structures, pipes, bridges or body of a car. For this application, the mechanical properties have an important role. One of the required properties is hardness. The required mechanical standard for this material are up to 48 RHN of hardness. This research uses low carbon sheet steel with 2 mm of thickness and then this sheet is cold rolled with the percent of reduction up to 60%, 75% and 90%. All the cold rolled material is heat treated in range temperature 600 to 680°C with 3 holding time variations, 60, 90 and 120 seconds. After that all of samples are characterized by mechanical testing and metallographic observation. From the experimental results is obtained recrystallization kinetic curves. . The results indicate that increasing holding time and annealing temperature will decrease hardness properties of steel. The highest hardness value is 89 RHN from the sample with final reduction thickness 0,8 mm which is annealed at temperature 620°C for 60 seconds of holding time, while the lowest hardness value is 35 RHN from the sample with the same of final reduction thickness at annealing temperature 640°C for 90 and 120 seconds of holding time. Higher of the annealing temperature and longer duration of soaking temperature decrease hardness value. Both are also influence on the fraction of the recrystallisation grain.

1. PENDAHULUAN

Pemakaian produk-produk akhir yang menggunakan bahan baku baja lembaran karbon rendah hasil canai dingin dan anil semakin banyak digunakan di antaranya untuk aplikasi komponen struktur bangunan, pipa, jembatan dan karoseri atau kerangka mobil. Untuk aplikasi tersebut, persyaratan sifat mekanik baja lembaran yang harus dipenuhi di antaranya adalah sifat kekerasan yang baik, begitu pun dengan sifat metalurgis.

8 November 2017

Baja lembaran yang memiliki nilai deviasi kekerasan yang tinggi, hal ini sangat tidak diinginkan konsumen karena menghasilkan sifat mampu bentuk yang rendah. Baja lembaran karbon rendah ini antara lain dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku pembuatan komponen otomotif. Sifat mekanik yang diharapkan untuk penggunaan keperluan di atas adalah baja lembaran dengan tingkat kekerasan yang baik. Kualitas baja lembaran yang dihasilkan dapat dikatakan baik apabila memenuhi syarat sesuai standar.

Standar kekerasan untuk aplikasi tersebut yaitu berupa nilai kekerasan HRB hingga 48 RHN^[1]. Oleh sebab itu untuk mendapatkan kekerasan yang baik, maka standar nilai deviasi kekerasan yang dihasilkan harus sekecil mungkin. Standar nilai deviasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} \quad (1)^{[2]}$$

Baja lembaran canai dingin kemudian direduksi ketebalannya hingga mencapai ketebalan yang diinginkan. Selama proses pengerolan, baja mengalami deformasi yang mengakibatkan perubahan sifat mekanik, seperti kekerasan yang meningkat tetapi keuletan menurun. Agar dapat digunakan pada proses selanjutnya, seperti proses pembentukan, baja tersebut harus diproses perlakuan panas lebih dulu sehingga keuletannya dapat meningkat.

Di pabrik baja lembaran dingin, proses anil dapat dilakukan secara kontinyu menggunakan proses *Continuous Annealing Line (CAL)*. Tujuan dilakukannya proses anil adalah untuk mendapatkan material baja yang bersifat lunak, mampu bentuk dan memiliki struktur yang homogen dengan prinsip menghilangkan tegangan sisa, memperbaiki butiran-butiran dan memperhalus ukuran butir^[3]. Pada proses anil kontinyu, karena lembaran baja bergerak pada saat proses anil berlangsung, seringkali ditemukan nilai kekerasan tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan berupa ketidakseragaman nilai kekerasan di sepanjang baja lembaran canai dingin. Hal tersebut diduga disebabkan antara lain kurang optimalnya temperatur pemanasan, waktu tahan dan laju pemanasan pada saat proses anil berlangsung sehingga proses rekristalisasi kurang berjalan sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan waktu tahan proses anil terhadap kinetika rekristalisasi dan kekerasan baja lembaran karbon rendah.

Ketika proses rekristalisasi berlangsung, kisi-kisi yang terdeformasi selama proses canai dingin akan tergantikan oleh kisi-kisi baru yang bebas regangan melalui nukleasi atau pengintian.

8 November 2017

Kinetika rekristalisasi merupakan jumlah fraksi butir terekristalisasi (X_v) terhadap waktu tahan yang dapat dijelaskan melalui persamaan (2), yaitu hasil bagi antara nilai kekerasan Brinell sebelum diberikan perlakuan panas dikurangi dengan nilai kekerasan Brinell ketika diberikan waktu tahan terhadap nilai kekerasan sebelum diberikan perlakuan panas dikurangi dengan nilai kekerasan pada saat waktu tahan maksimum. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung banyaknya fraksi butir yang mengalami rekristalisasi pada tiap waktu tahan anil.

$$X_v = \frac{BHN_{initial} - BHN(t)}{BHN_{initial} - BHN_{final}} \quad (2)^{[4]}$$

Keterangan:

X_v = Fraksi butir terekristalisasi

$BHN_{initial}$ = Nilai kekerasan sebelum diberikan perlakuan panas

$BHN(t)$ = Nilai kekerasan setelah diberikan waktu tahan

BHN_{final} = Nilai kekerasan sampel pada saat waktu tahan maksimum

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja lembaran karbon rendah hasil canai dingin dengan ketebalan 2 mm dengan nilai persen reduksi 60%, 75% dan 90%, sehingga didapatkan ketebalan sampel 0,8; 0,5 dan 0,2 mm secara berurutan. Sampel dipotong dengan bentuk sampel uji tarik, seperti terlihat pada gambar.1. Selanjutnya material ini dipanaskan di dalam tungku *muffle* pada temperatur dan tenggang waktu tertentu. Setelah pemanasan sampel dikeluarkan dari tungku dan dilakukan karakterisasi dengan beberapa metoda pengujian.



GAMBAR 1. Sampel baja lembaran karbon rendah hasil canai dingin dengan reduksi 60%, 75% dan 90 %

8 November 2017

2.2 Metode

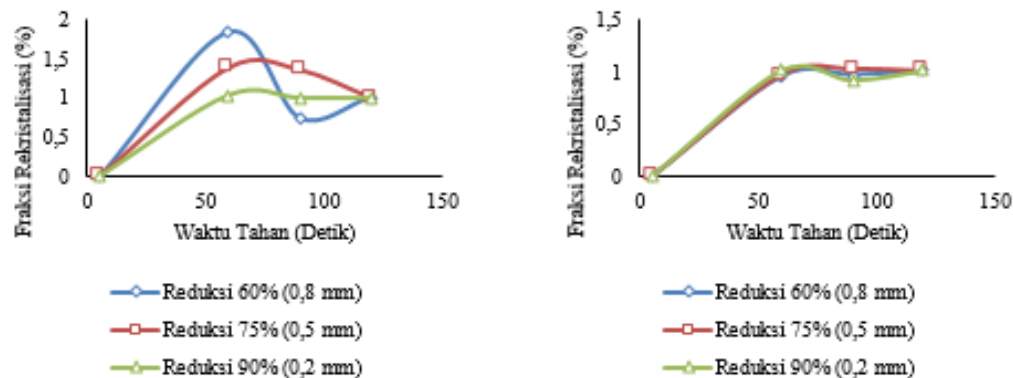
Penelitian ini dimulai dengan karakterisasi sampel awal yang meliputi uji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, uji kekerasan berdasarkan standar SNI 19-0406 (1989), uji tarik berdasarkan standar JIS Z 2241 (2011) / SNI 07-0408 (1989) dan pemeriksaan metalografi berdasarkan standar ASTM 5 – 8. Setelah diperoleh hasil karakterisasi selanjutnya dilakukan proses perlakuan panas aniling di dalam tungku *muffle* dengan temperatur anil 600, 620, 640, 660 dan 680°C yang mengacu pada temperatur operasi *CAL*^{[5], [6]}. Pemanasan ini dilakukan dengan waktu tahan digunakan waktu selama 60, 90 dan 120 detik pada masing-masing temperatur anil berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan^{[5], [6]}.

$$t = \frac{V}{r} \quad (3)^{[5], [6]}$$

Setelah melakukan proses perlakuan panas kemudian dilakukan karakterisasi sampel kembali terhadap hasil anil yang meliputi uji keras, uji tarik dan pemeriksaan metalografi berdasarkan standar yang serupa dengan sampel awal. Data hasil penelitian yang telah didapat kemudian digunakan untuk membuat kurva kinetika rekristalisasi, sehingga dapat diketahui fraksi butir yang mengalami rekristalisasi terhadap fungsi waktu (t) yang dalam hal ini adalah waktu tahan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari proses anil akan memperbaiki sifat mekanik material akibat pengerjaan dingin, hal tersebut ditunjukkan dengan menurunnya kekerasan dan meningkatnya keuletan sehingga dapat digunakan untuk proses selanjutnya.



GAMBAR 2. Kurva Kinetika Rekristalisasi pada Temperatur 600°C **GAMBAR 3.** Kurva Kinetika Rekristalisasi pada Temperatur 680°C

8 November 2017

Gambar 2 menjelaskan pengaruh fraksi butir terekristalisasi terhadap waktu tahan pada temperatur 600°C, terlihat bahwa nilai kekerasan pada masing-masing persen reduksi dan waktu tahan dapat menentukan fraksi butir terekristalisasi seiring dengan bertambahnya waktu tahan. Fraksi butir yang mengalami rekristalisasi tertinggi terjadi pada reduksi 60% waktu tahan 60 detik dengan nilai 1,8367%, sedangkan fraksi butir yang mengalami rekristalisasi terendah terjadi pada reduksi 60% waktu tahan 90 detik dengan nilai 0,7346%^{[4], [7], [3], [8]-[11]}.

Gambar 3 menjelaskan pengaruh fraksi butir terekristalisasi pada waktu tahan pada temperatur 680°C, terlihat bahwa nilai kekerasan pada masing-masing persen reduksi dan waktu tahan dapat menentukan fraksi butir terekristalisasi seiring bertambahnya waktu tahan. Fraksi butir yang mengalami rekristalisasi tertinggi terjadi pada reduksi 75% waktu tahan 90 detik dengan nilai 1,0180%, sedangkan fraksi butir yang mengalami rekristalisasi terendah terjadi pada reduksi 90% waktu tahan 90 detik dengan nilai 0,9099%^{[4], [3], [8]-[11]}.

Hasil Karakterisasi Uji Komposisi

Uji komposisi dilakukan untuk melihat kondisi unsur yang terkandung di dalam baja lembaran canai dingin. Dari hasil pengujian komposisi maka di peroleh komposisi unsur-unsur yang terkandung di dalam baja dengan reduksi tertentu adalah seperti tabel.1

TABEL 1. Data Hasil Uji Komposisi

Tebal Sampel	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silikon (Si)	Fosfor (P)	Sulfur (S)	Alumunium (Al)	Vanadium (V)
0,2 mm	0,0368	0,183	0,016	0,013	0,0052	0,046	0
0,5 mm	0,0358	0,185	0,01	0,0085	0,0053	0,047	0
0,8 mm	0,043	0,181	0,014	0,013	0,013	0,044	0,0044

Hasil Karakterisasi Uji Kekerasan

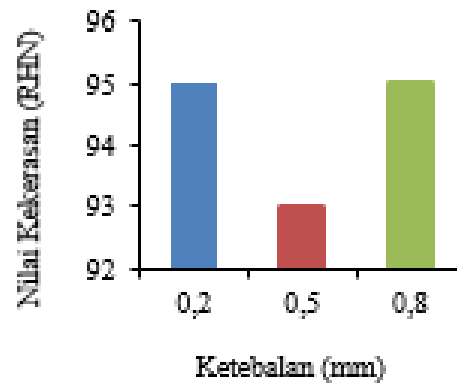
Pengujian kekerasan dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah proses anil dilakukan. Dari hasil pengujian tersebut di peroleh hasil seperti terlihat pada tabel 2 untuk sampel yang belum di anil dan tabel 3 untuk sampel telah di anil.

3.1.1. Uji Kekerasan Sebelum Proses Anil

8 November 2017

TABEL 2. Data Hasil Uji Kekerasan Sebelum Aniling

Tebal Sampel	Nilai Kekerasan (RHN)
0,2 mm	95
0,5 mm	93
0,8 mm	95

**GAMBAR 4.** Grafik Nilai Kekerasan Sebelum Aniling

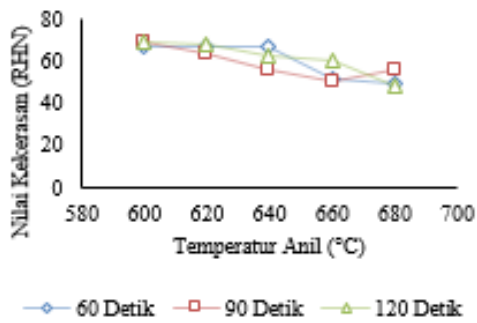
Gambar 4 menjelaskan tentang nilai kekerasan sampel pada masing-masing ketebalan sebelum dilakukan proses anil. Terlihat bahwa sampel tebal 0,2 dan 0,8 mm memiliki nilai kekerasan yang sama yaitu 95 RHN, sedangkan sampel tebal 0,5 mm memiliki nilai kekerasan 93 RHN.

3.1.2 Uji Kekerasan Setelah Proses Anil

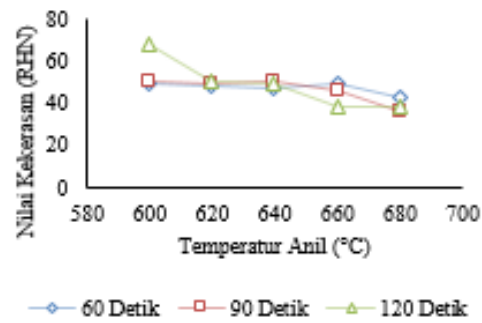
TABLE 3. Data Hasil Uji kekerasan setelah Proses anil

Temperatur Anil (°C)	Waktu Tahan (detik)	Nilai Kekerasan (RHN)		
		0,2 mm	0,5 mm	0,8 mm
600	60	67	49	65
600	90	69	51	87
600	120	69	68	83
620	60	67	48	89
620	90	64	49	74
620	120	68	51	39
640	60	67	47	62
640	90	56	50	35
640	120	63	49	35
660	60	52	49	42
660	90	51	46	45
660	120	60	38	36
680	60	49	43	41
680	90	56	36	41
680	120	48	38	37

8 November 2017



GAMBAR 5. Kurva Hasil Uji Kekerasan Setelah Aniling Sampel 0,2 mm



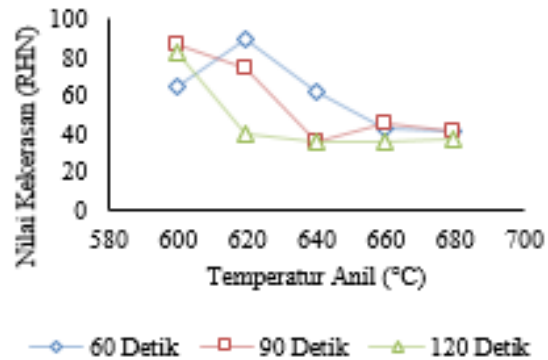
GAMBAR 6. Kurva Hasil Uji Kekerasan Setelah Aniling Sampel 0,5 mm

Gambar 5 menjelaskan pengaruh temperatur anil terhadap nilai kekerasan material, terlihat bahwa nilai kekerasan memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur anil. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada temperatur 680°C waktu tahan 90 detik dengan nilai kekerasan 56 RHN.

Gambar 6 menjelaskan pengaruh temperatur anil terhadap nilai kekerasan material, terlihat bahwa nilai kekerasan memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur anil. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada temperatur 660°C waktu tahan 60 detik dengan nilai kekerasan 49 RHN, temperatur 640°C waktu tahan 90 detik dengan nilai kekerasan 50 RHN dan temperatur 640°C waktu tahan 120 detik dengan nilai kekerasan 51 RHN.

Gambar 7 menjelaskan pengaruh temperatur anil terhadap nilai kekerasan material, terlihat bahwa nilai kekerasan memiliki kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur anil. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada temperatur 620°C waktu tahan 60 detik dengan nilai kekerasan 89 RHN, temperatur 660°C waktu tahan 90 detik dengan nilai kekerasan 45 RHN temperatur 660°C dan 680°C waktu tahan 120 detik dengan nilai kekerasan masing-masing 36 dan 37 RHN.

8 November 2017



GAMBAR 7. Kurva Hasil Uji Kekerasan Setelah Aniling Sampel 0,8 mm

4. KESIMPULAN

Nilai kekerasan yang didapatkan dari hasil pengujian pada masing-masing persen reduksi dan waktu tahan dapat menentukan fraksi butir yang mengalami rekristalisasi pada tiap waktu tahan anil. Nilai kekerasan cenderung mengalami penurunan seiring dengan naiknya temperatur anil dan bertambahnya waktu tahan. Ketebalan sampel dapat menentukan nilai kekerasan, semakin tebal sampel maka nilai kekerasan cenderung semakin kecil dan kinetika rekristalisasi akan semakin tinggi.

8 November 2017

REFERENSI

- [1] P. Krakatau Steel, "KS Product Specification." PT. Krakatau Steel (Persero), Tbk., Cilegon, hal. 32, 2015.
- [2] Sugiyono, Statistik untuk Penilaian. Bandung: CV Alfabeta, 2007.
- [3] S. H. Avner, Introduction To Physical Metallurgy, Second Edi. Singapore: McGraw-Hill Book Co, 1974.
- [4] N. A. Raji dan O. O. Oluwole, "Recrystallization Kinetics and Microstructure Evolution of Annealed Cold-Drawn Low-Carbon Steel," J. Cryst. Process Technol., vol. 3, hal. 163–169, 2013.
- [5] N. Yoshitani dan A. Hasegawa, "Model-Based Control of Strip Temperature for the Heating Furnace in Continuous Annealing," IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 6, no. 2, hal. 146–156, 1998.
- [6] T. Chen, C. Ho, J. Lin, dan L. Wu, "3-D temperature and stress distributions of strip in preheating furnace of continuous annealing line," Appl. Therm. Eng., vol. 30, no. 8–9, hal. 1047–1057, 2010.
- [7] M. Avrami, "Kinetics of Phase Change. I General Theory," J. Chem. Phys., vol. 7, hal. 1103–1112, 1939.
- [8] M. C. Weinberg, D. P. B. Iii, dan V. A. Shneidman, "Crystallization kinetics and the JMAK equation," J. Non-Crystalline Solids 219, vol. 219, hal. 89–99, 1997.
- [9] J. Vazquez, P. . Lopez-Aleman, P. Villares, dan R. Jimenez-Garay, "Generalization of the Avrami equation for the analysis of non-isothermal transformation kinetics . Application to the crystallization of the Cu 0 . 20 As 0 . 30 Se 0 . 50 alloy," J. Phys. Chem. Solids 61 493–500, vol. 61, hal. 493–500, 2000.
- [10] M. Ariati, "Kinetika Pertumbuhan Butir Austenit pada Kondisi Pendinginan Kontinu pada Baja HSLA- Nb Selama Canai Panas," 2010.
- [11] N. A. Raji dan O. O. Oluwole, "Effect of Soaking Time on the Mechanical Properties of Annealed Cold-Drawn Low Carbon Steel," vol. 2012, no. August, hal. 513–518, 2012.
- [12] J. A. Bailey, J. Barsom, P. Blau, K. Budinski, V. Bulsara, dan L. Carlsson, ASM Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation. ASM International, 2000.

8 November 2017

Sintesis Serbuk Tembaga Dengan Metode Elektrolisis: Studi Perilaku Elektrokimia Dan Karakterisasi Serbuk

M. Zaki Mubarak ^{a,*}, Lucky Nugroho Aji ^{b)}, & Soleh Wahyudi^{c)}

^{a)}Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesha, 10, Bandung, Jawa Barat 40132

^{b)} PT. Batutua Tembaga Raya, Wetar Copper Site Project, Pulau Wetar Maluku

^{c)} Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Sains dan Teknologi Bandung, Kota Deltamas Lot-A1 CBD, Jl. Ganesha Boulevard, Cikarang Pusat, Jawa Barat 17530

^{*})email: zaki@mining.itb.ac.id

Abstract.

In the present paper, electrochemical behavior of copper electrodeposition under variations of copper and sulfuric acid concentration followed by synthesis of copper powder by electrolysis method is discussed. Electrochemical behaviour of copper electrodeposition was studied by measuring cathodic polarization using a potentiostat. Series of electrolysis experiments were conducted to synthesize copper powder under variations of current density, concentrations of copper and sulfuric acid in $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ electrolyte. Copper powder was characterized by using AAS, XRD, SEM and PSA. Results of cathodic polarization measurements demonstrated a significant increase of limiting current density of copper deposition from $\pm 60 \text{ mA/cm}^2$ to 900 mA/cm^2 by increasing Cu concentration from 0.075M to 0.6M. Results of copper powder synthesis revealed that the size of copper powder tends to be finer at lower current efficiency of electrolysis which is associated with the enhancement of hydrogen evolution rate from the cathode surface at a current density regime of above limiting current density. Average particle size of copper powder from the electrolysis experiment with Cu^{2+} concentration of 0.15M, H_2SO_4 0.5M and current density of 150 mA/cm^2 was $759.9 \pm 99 \text{ nm}$ and can be categorized as sub-micron powder. The powder has average copper content of 94% with oxygen as a main impurity which combined with copper as copper (I) oxide (Cu_2O).

Keywords: tembaga, serbuk, polarisasi, sintesis, elektrolisis

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Serbuk tembaga merupakan salahsatu produk hilir dari logam tembaga yang dibutuhkan pada berbagai aplikasi. Serbuk tembaga digunakan sebagai bahan utama maupun paduan untuk pembuatan komponen elektronik dan listrik karena memiliki sifat konduktivitas listrik yang sangat baik. Selain itu, serbuk tembaga juga digunakan untuk bahan antiseptik & anti *fouling* karena sifat anti bakteri dan anti mikrobial yang dimilikinya [1]. Tembaga memiliki sifat *biocides* sehingga serbuk tembaga dapat dijadikan sebagai bahan cat *anti-fouling* yang banyak digunakan untuk pelapisan permukaan luar lambung kapal laut[2]. Serbuk tembaga dan tembaga oksida juga digunakan sebagai bahan campuran pupuk, industri kimia dan aplikasi spesifik lainnya. Berdasarkan informasi dari The World Copper Factbook 2016 yang dikeluarkan oleh *International Copper Study Group*, terjadi peningkatan kebutuhan dan produksi serbuk tembaga dalam 20 tahun terakhir (1995-2015)[3]. Indonesia sebagai salahsatu negara dengan tambang tembaga terbesar di dunia dan juga memproduksi tembaga katoda (*copper cathode*) hingga saat ini masih mengimpor serbuk tembaga untuk berbagai keperluan industri di dalam negeri. Selain itu juga industri hilir tembaga dalam negeri juga belum dapat menyerap semua katoda tembaga yang diproduksi oleh pabrik peleburan tembaga (*copper smelter*) dimana sebagian besar penyerapannya adalah untuk industri kabel[4].

Secara umum serbuk tembaga dapat disintesis dengan metode elektrokimia dan metode atomisasi. Kelebihan yang dimiliki dari metode elektrokimia dibandingkan metode atomisasi, selain mampu menghasilkan serbuk tembaga dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi, juga memiliki kandungan oksigen yang lebih rendah, lebih mudah dilakukan proses *pressing* dan *sintering*[5].

Menurut Popov (2016)[5], Gokhan dan Gezgin (2012)[6] dan Djokic (2012)[7], elektrodeposit tembaga dalam bentuk serbuk (*powder*) dapat terbentuk melalui proses elektrolisis dalam larutan $H_2SO_4-CuSO_4$ yang dilakukan dengan kondisi dimana proses deposisi tembaga terkendali oleh perpindahan massa (difusi) ion tembaga dari ruah larutan menuju permukaan katoda dan terjadi evolusi gas hidrogen pada permukaan katoda. Kondisi tersebut terjadi pada rapat arus yang lebih tinggi dari rapat arus limit untuk deposisi ion tembaga menjadi logamnya.

8 November 2017

Sementara itu, elektrodeposit tembaga dengan bentuk pelat dapat dihasilkan pada rapat arus yang lebih rendah dari rapat arus limit yaitu pada zona dimana deposisi tembaga terkendali oleh laju perpindahan muatan pada antarmuka elektroda-elektrolit.

Mekanisme terbentuknya elektrodeposit logam terjadi melalui proses pengintian (*nucleation*) dan pertumbuhan inti (*growth*). Mekanisme tersebut membutuhkan gaya pendorong (*driving force*) yaitu overpotensial (η) pada elektroda. Overpotensial katodik (η_c) atau polarisasi katodik merupakan selisih antara potensial katoda (E_c) dengan potensial katoda dalam keadaan kesetimbangan (E_{eq}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 2 (dua) nilai overpotensial kritis yaitu overpotensial kritis saat serbuk terbentuk (η_c) dan overpotensial kritis saat dendrit mulai tumbuh (η_i). Pada proses pembentukan serbuk tembaga dengan elektrolisis, overpotensial deposisi Cu harus berada zona overpotensial evolusi gas hidrogen yang kuat karena dalam rezim ini, dendrit akan muncul pada berbagai rentang rapat arus limit difusi saat tidak adanya evolusi gas hidrogen yang kuat (Djokic dkk., 2012). Berlangsungnya evolusi gas hidrogen yang kuat pada permukaan katoda melalui reaksi $2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ secara simultan dengan deposisi ion Cu ($Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$) memberikan efek pengadukan setempat pada permukaan katoda yang mengakibatkan meningkatnya rapat arus limit difusi dan meningkatnya overpotensial awal pertumbuhan dendrit dan mendorong terbentuknya serbuk tembaga (Nikolic dkk., 2010)[8].

Pada paper ini dibahas hasil-hasil percobaan polarisasi katodik dengan *potensiodynamic scan* dan *galvanostatic scan* proses elektrodeposisi Cu dari larutan $H_2SO_4-CuSO_4$ untuk mempelajari perilaku elektrokimia pembentukan serbuk tembaga. Pengujian potensiodinamik dilakukan untuk mendapatkan kurva polarisasi katodik pengendapan tembaga, yang menunjukkan daerah rapat arus terhadap potensial dimana terjadi evolusi gas hidrogen. Pengujian galvanostatik pada rapat arus tertentu dilakukan untuk mengetahui perubahan potensial katoda selama proses elektrolisis dan menentukan lama waktu elektrolisis untuk menghasilkan serbuk dengan ukuran yang lebih homogen. Setelah diperoleh data-data rapat arus dimana terjadi evolusi gas hidrogen dari percobaan polarisasi, dilakukan percobaan elektrolisis untuk mensintesis serbuk tembaga dengan elektrolit $H_2SO_4-CuSO_4$ dengan variasi rapat arus, konsentrasi Cu^{2+} dan konsentrasi H_2SO_4 .

8 November 2017

2. MATERIAL DAN METODE

Material

Pada percobaan pengukuran kurva polarisasi dengan potensiostat, benda kerja (*working electrode*) yang digunakan adalah pelat stainless steel 316 L dengan dimensi 1cmx1cm . Benda kerja ini di-*mounting* dalam resin sedemikian rupa sehingga hanya permukaan seluas 1 cm² saja yang terpapar dalam larutan elektrolit. Permukaan belakang benda kerja yang terisolasi dalam resin terlebih dahulu dihubungkan dengan kabel diperlukan untuk koneksi ke potensiostat. Elektroda bantu (*auxiliary electrode*) yang digunakan adalah platina, sementara elektroda *reference* yang digunakan adalah Ag/AgCl. Pengukuran polarisasi dilakukan dengan menggunakan potensiostat Gamry Reff 600+ dalam sebuah *Faraday cage* untuk menghindari adanya interferensi medan listrik dari lingkungan sekitar di laboratorium.

Pada percobaan sintesis serbuk dengan elektrolisis, digunakan anoda berupa pelat tembaga murni dan katoda pelat stainless steel 316L. Pelat katoda murni tersebut dihasilkan sendiri di laboratorium dengan cara melakukan proses electrorefining sampel tembaga anoda yang diperoleh dari PT. Smelting. Luas permukaan katoda yang terpapar dalam elektrolit pada percobaan elektrolisis adalah 10 cm x 3 cm. Larutan elektrolit dipreparasi dari serbuk CuSO₄.5H₂O yang dilarutkan dalam larutan asam sulfat. Kedua bahan elektrolit ini mempunyai kualitas pro analysis (pa). Volume elektrolit yang digunakan adalah 3,15 liter.

Metode

Pengukuran kurva polarisasi katodik dilakukan dengan scan rate 0,5 mV/s dari potensial *open circuit* katoda hingga -1,2 V dibawah potensial open circuit tersebut. Pengukuran polarisasi katodik dilakukan dengan variasi konsentrasi Cu²⁺ dan konsentrasi H₂SO₄ seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Percobaan elektrolisis dilakukan selama 30 menit dengan variasi percobaan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Setelah elektrolisis selesai dilakukan, endapan serbuk tembaga pada permukaan katoda dicuci dengan air untuk menghilangkan sisa elektrolit yang menempel. Selanjutnya serbuk tembaga dilepaskan dari permukaan katoda dengan disemprot larutan asam borat yang dilarutkan dalam aseton untuk mencegah proses oksidasi serbuk tembaga oleh udara pada saat serbuk dikeringkan dengan oven dan disimpan sebelum dilakukan analisis.

8 November 2017

Pengeringan serbuk tembaga dilakukan dengan memasukkan serbuk ke dalam bejana bertekanan rendah yang selanjutnya dimasukkan ke dalam oven dan dikeringkan selama 4 jam pada suhu 90 °C. Setelah serbuk kering, selanjutnya dilakukan penimbangan serbuk untuk menentukan berat aktual serbuk yang dihasilkan pada berbagai kondisi percobaan. Data berat aktual serbuk ini dipakai untuk menentukan efisiensi arus proses elektrolisis dari perbandingan berat aktual dengan berat teoritik serbuk yang dihitung dengan Persamaan Faraday. Pengukuran tegangan sel dengan voltmeter dilakukan setiap 3 menit selama 30 menit elektrolisis. Serbuk tembaga yang dihasilkan dilakukan analisis kadar tembaganya dengan AAS, dikarakterisasi dengan XRD dan dilakukan pengukuran distribusi ukuran butirannya menggunakan PSA. Morfologi butiran serbuk dianalisis dengan menggunakan SEM.

Tabel 1. Variasi percobaan sintesis serbuk Cu dengan elektrolisis

Variabel Percobaan	[Cu ²⁺] (M)	[H ₂ SO ₄] (M)	Rapat Arus (mA/cm ²)
Konsentrasi Cu ²⁺	0,075	0,500	150
	0,150	0,500	150
	0,300	0,500	150
	0,600	0,500	150
Konsentrasi H ₂ SO ₄	0,150	0,125	150
	0,150	0,250	150
	0,150	1,000	150
	0,075	0,250	150
	0,225	0,750	150
Rapat arus	0,150	0,500	37,5
	0,150	0,500	75
	0,150	0,500	225
	0,150	0,500	300

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

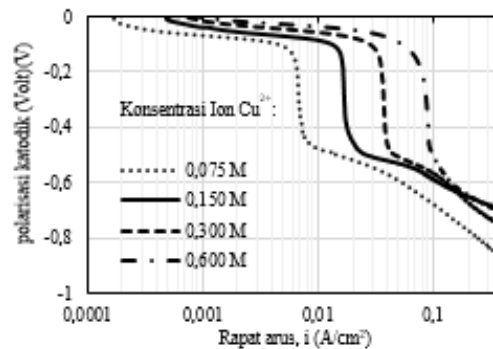
Kurva polarisasi katodik pada berbagai variasi konsentrasi Cu²⁺ dan H₂SO₄ ditunjukkan masing-masing pada **Error! Reference source not found.** dan Gambar 2. Dari kurva polarisasi ini dapat ditentukan limiting current density (i_L), exchange current density (i_0) dan rasio i_0/i_L untuk masing-masing percobaan. Sebagaimana hasil-hasil pengukuran yang dilaporkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya[5,8] kurva polarisasi katodik deposisi tembaga menunjukkan 3 zona yang berbeda yaitu zona aktivasi dimana laju deposisi tembaga terkendali oleh perpindahan muatan ada antarmuka katoda-elektrolit, zona rapat arus limit dimana laju deposisi tembaga terkendali oleh perpindahan massa ion Cu²⁺ dari ruah larutan ke permukaan katoda dan zona evolusi gas hidrogen yaitu ketika terjadi perubahan kemiringan kurva setelah i_{limit} .

8 November 2017

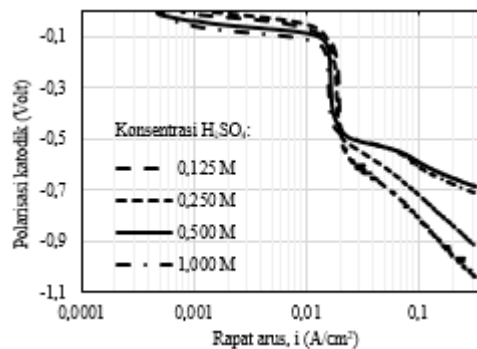
Terlihat jelas bahwa rapat arus limit untuk pengendapan Cu meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Cu^{2+} dalam larutan elektrolit. Kecenderungan ini sesuai dengan korelasi antara rapat arus limit untuk deposisi logam

$$i_L = nFDC_\infty/\delta \quad (1)$$

dengan n adalah jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi di katoda, C_∞ adalah konsentrasi ion logam dalam ruah larutan, F adalah konstanta Faraday, dan D koefisien difusi dari ion yang mengendap di katoda. Hasil pengukuran kurva polarisasi katodik menunjukkan terjadinya peningkatan rapat arus limit deposisi tembaga yang signifikan dari $\pm 60 \text{ mA/cm}^2$ ke 900 mA/cm^2 pada peningkatan konsentrasi Cu dari 0,075M ke 0,6M. Konsentrasi asam sulfat tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rapat arus limit deposisi Cu dimana peningkatan konsentrasi H_2SO_4 sedikit menurunkan harga rapat arus limit. Nilai rapat arus dimana terjadi evolusi gas hidrogen digunakan sebagai acuan pemilihan rapat arus dalam percobaan elektrolisis untuk mensintesis serbuk tembaga pada berbagai konsentrasi Cu^{2+} dan H_2SO_4 .



GAMBAR 1. Kurva polarisasi katodik dengan variasi konsentrasi ion Cu^{2+}

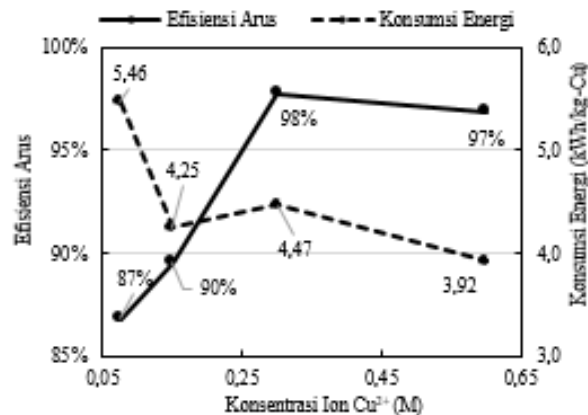


Gambar 2. Kurva polarisasi katodik dengan variasi konsentrasi H_2SO_4

8 November 2017

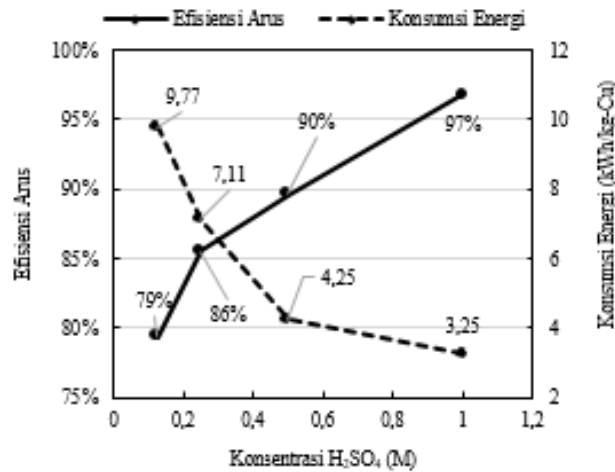
Hasil percobaan sintesis serbuk Cu dengan elektrolisis menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Cu^{2+} dalam larutan elektrolit memiliki kecenderungan meningkatkan efisiensi arus dan menurunkan konsumsi energi proses elektrolisis (Gambar 3). Nilai efisiensi arus terendah yaitu 86,8% dan konsumsi energi tertinggi yaitu 5,46 kWh/kg-Cu diperoleh pada konsentrasi Cu^{2+} 0,075 M dan pada rapat arus 150mA/cm². Pada rapat arus yang sama, peningkatan konsentrasi Cu^{2+} dari 0,075M ke 0,3M dan 0,6M menaikkan efisiensi arus secara signifikan menjadi 97-98%. Peningkatan efisiensi arus pengendapan Cu dengan naiknya konsentrasi Cu^{2+} lebih dari 0,3M ini mengindikasikan terbentuknya gas hidrogen yang semakin sedikit dan endapan yang terbentuk mulai cenderung membentuk plat atau bukan serbuk. Semakin banyak volume gas hidrogen yang terbentuk semakin rendah efisiensi arus elektrolisis karena sejumlah tertentu arus yang diberikan digunakan untuk reaksi evolusi gas hidrogen ini. Pada kurva polarisasi katodik, hidrogen yang terbentuk semakin sedikit ketika nilai rapat arus dan overpotensialnya mendekati zona *mixed activation-diffusion control* atau disekitar rapat arus limitnya.

Peningkatan konsentrasi H_2SO_4 dalam larutan elektrolit memiliki kecenderungan meningkatkan nilai efisiensi arus dan menurunkan konsumsi energi proses elektrolisis untuk mensintesis serbuk Cu seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai efisiensi arus terendah yaitu 79,4% dan konsumsi energi tertinggi yaitu 9,77 kWh/kg-Cu diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 0,125 M, pada rapat arus 150mA/cm². Nilai overpotensial deposisi Cu cenderung meningkat seiring dengan penurunan konsentrasi H_2SO_4 . Kondisi ini yang menyebabkan nilai efisiensi arus menurun, karena evolusi gas hidrogen yang semakin meningkat.



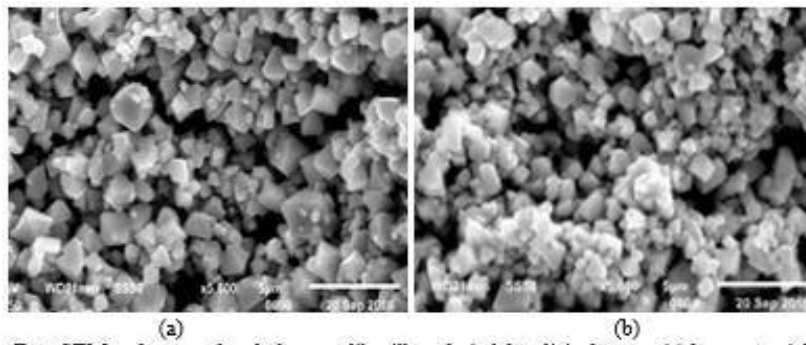
GAMBAR 3. Profil efisiensi arus dan konsumsi energi elektrolisis seruk Cu sebagai fungsi konsentrasi Cu^{2+}

8 November 2017



GAMBAR 4. Profil efisiensi arus dan konsumsi energi elektrolisis serbuk Cu sebagai fungsi konsentrasi H₂SO₄

Hasil analisis komposisi kimia serbuk dengan AAS menunjukkan rata-rata serbuk yang dihasilkan memiliki kandungan tembaga 94%. Berdasarkan data komposisi ini, serbuk yang dihasilkan dapat digunakan salahsatunya sebagai bahan campuran cat *ant-fouling*. Sementara itu, hasil analisis XRD mengindikasikan bahwa sebagian serbuk teroksidasi menjadi CuO. Hasil analisis dengan SEM menunjukkan morfologi dominan yang terbentuk adalah kubik seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari hasil pengukuran distribusi ukuran serbuk dengan menggunakan PSA, dapat diketahui bahwa rata rata ukuran serbuk yang dihasilkan dari percobaan dengan konsentrasi Cu²⁺ 0,15 M; H₂SO₄ ,5 M; dan rapat arus 150 mA/cm² adalah 759,9 ± 99 nm. Ukuran ini termasuk dalam kategori *sub-micron powder*.



Gambar 3. Foto SEM pada sampel serbuk yang dihasilkan dari elektrolisis dengan (a) konsentrasi Cu²⁺ 0,15 M; H₂SO₄ 0,5 M dan dan rapat arus 150 mA/cm² (b) konsentrasi Cu²⁺ 0,15 M; H₂SO₄ 0,5 M dan dan rapat arus 300 mA/cm²

8 November 2017

Peningkatan rapat arus memiliki kecenderungan menghasilkan butiran dengan ukuran yang lebih kecil. Sementara, variasi konsentrasi H_2SO_4 relatif lebih tidak berpengaruh signifikan terhadap ukuran serbuk yang dihasilkan. Hal ini karena variasi konsentrasi H_2SO_4 relatif tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai i_L jika dibandingkan dengan variasi konsentrasi Cu^{2+} meskipun terdapat sedikit penurunan nilai efisiensi arus seiring dengan penurunan konsentrasi H_2SO_4 .

4. KESIMPULAN

Konsentrasi Cu^{2+} dalam larutan elektrolit dan rapat arus merupakan parameter kunci dalam menghasilkan deposit tembaga dalam bentuk serbuk. Secara elektrokimia, pembentukan serbuk tembaga terjadi bila proses deposisi tembaga dilakukan pada rezim rapat arus dan overpotensial yang menghasilkan evolusi gas hidrogen. Hasil pengukuran kurva polarisasi katodik menunjukkan terjadinya peningkatan rapat arus limit deposisi tembaga yang signifikan dari $\pm 60 \text{ mA/cm}^2$ ke 900 mA/cm^2 pada peningkatan konsentrasi Cu dari $0,075\text{M}$ ke $0,6\text{M}$. Hasil percobaan sintesis serbuk tembaga menunjukkan bahwa ukuran serbuk tembaga semakin halus seiring dengan penurunan efisiensi arus yang disebabkan oleh peningkatan laju evolusi gas hidrogen dari permukaan katoda di atas rezim arus limit deposisi tembaga. Hasil analisis menunjukkan bahwa rata rata ukuran serbuk tembaga yang dihasilkan dari percobaan elektrolisis dengan konsentrasi Cu^{2+} $0,15 \text{ M}$, H_2SO_4 $0,5 \text{ M}$ dan rapat arus operasi 150 mA/cm^2 adalah $759,9 \pm 99 \text{ nm}$ dan termasuk dalam kategori *sub-micron powder*.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Smelting Gresik yang telah memberikan sampel tembaga anoda untuk keperluan penelitian ini dan penelitian studi pengaruh additives terhadap morfologi deposit pada electrorefining tembaga.

8 November 2017

REFERENSI

- [1] Chang I and Zhao Y. (2013), *Advances in Powder Metallurgy, Properties, Processing and Applications*, Woodhead Publishing, 1st Edition.
- [2] Yebra, Meseguer D., Kiil S, and Johansen, K.D. Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings." *Progress in organic coatings* 50.2 (2004): 75-104
- [3] Informasi dari <https://www.icsg.org>, diakses 17 Oktober 2017
- [4] Informasi dari https://www.bps.go.id/website/pdf_publicasi/Buletin-Statistik-Perdagangan-Luar-Negeri-Ekspor-Menurut-Kelompok-Komoditi-dan-Negara-Juni-2016-.pdf, Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri - Ekspor periode Juni 2016, Diakses 4 September 2016
- [5] Popov, KI., Djokic SS., Nikolic ND. and Jovic, VD. (2016), *Morphology of Electrochemically and Chemically Deposited Metals*, Springer International Publishing, Switzerland.
- [6] Gökhan O and Gezgin GG, (2012). Effect of electrolysis parameters on the morphologies of copper powders obtained at high current densities." *Serbian Chemical Society. Journal* 77, 5, pp. 651-665.
- [7] Djokic, S.S. (2012), *Electrochemical Production of Metal Powders*, Springer, New York.
- [8] Nikolic, ND. (2010), *Fundamental Aspects of Copper Electrodeposition in the Hydrogen Co-deposition Range*, *Zastita Materijala*, 51, 197-203.

8 November 2017

Studi Pengaruh Penambahan Karbon dan Kromium Terhadap Ketahanan Aus Erosi Intermetalik FeAl Hasil *Planetary Ball Milling*

Slameto Wiryolukito^{1, a)}, Jonathan Sebastian^{1, b)}, & Djoko Hadi Prajitno^{2, c)}¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB²Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Bandunga) swmetallurgist@yahoo.com b) jonasebastian@gmail.com c) djokohp71@yahoo.co.id

Abstract.

Intermetallic material FeAl is recently used as an alternative to inner coating pipe in oil and gas industry as erosive wear protection. FeAl is a material known for high-temperature oxidation resistance, cheap to produce, high strength although it has low ductility. The effect of carbon and chromium doping was studied with its relations to erosive wear of FeAl. Fe-22 wt% Al was produced with four variations of dopant composition: 0,1 wt% C, 0,5 wt% C, 0,1 wt% C + 1 wt% Cr and 0.5 wt% C + 1 wt% Cr. FeAl was processed using planetary ball milling of Fe and Al powders, followed by 90 kgf/cm², 100 kgf/cm² and 110 kgf/cm² compaction pressure and sintering at 1250 °C. The material formed after milling was analyzed by means of X-Ray Diffraction and Scanning Electron Microscopy was used to determine shape and size of Fe and Al powders. Metallography was used to determine the porosity using image analysis. Erosive wear resistance was determined using Air Jet Erosion Tester. The result shows chromium and carbon dopants will reduce erosive wear resistance, where addition 1 wt% carbon increase total mass loss by 0,0075 gram, 1 wt% chromium increase total mass loss by 0,0079 gram and increase 1 % percentage of porosity increase will increase total mass loss by 0,0029 gram. In this experiment, discovered the additional doping affects more to erosive wear resistance of FeAl intermetallic than that increase in porosity.

Keywords: *FeAl, planetary ball milling, porosity, carbon, chromium, erosive wear resistance*

1. PENDAHULUAN

Aus erosi merupakan masalah yang cukup banyak ditemukan pada industri minyak dan gas. Aus erosi merupakan berkurangnya massa material akibat adanya interaksi mekanik antara permukaan logam dengan partikel padat. Pada industri minyak dan gas, pipa yang bertugas mengaliri minyak dapat terkena masalah aus erosi yang disebabkan oleh adanya partikel padat

8 November 2017

yang berada dalam kandungan minyak tersebut. Hal ini akan menyebabkan penipisan permukaan dari pipa tersebut yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada pipa tersebut

Intermetalik merupakan jenis material yang banyak diteliti karena sifatnya yang unik daripada material penyusunnya. Salah satu jenis intermetalik yaitu FeAl banyak digunakan karena mempunyai bahan pembentuk yang murah serta ketahanan korosi yang tinggi namun mempunyai keuletan yang rendah [1]. Peningkatan sifat mekanik FeAl masih menjadi perhatian peneliti untuk mendapatkan material yang sesuai untuk industri, Pada penelitian ini, ingin diketahui ketahanan aus erosi pada intermetalik FeAl hasil pemrosesan *planetary ball milling* dengan penambahan kandungan karbon dan kromium. Penambahan doping tersebut diharapkan dapat mengetahui pengaruhnya dalam peningkatan sifat mekanik FeAl. Diharapkan hasil dari penelitian ini ke depannya adalah pipa pada industri minyak dan gas dapat dilapisi oleh FeAl dengan penambahan doping yang sesuai untuk menahan aus erosi.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini serbuk Fe dari Sigma-Aldrich® dan serbuk Al dari Pudak Scientific®. Doping menggunakan serbuk Cr dari Sigma-Aldrich® dan serbuk karbon. Larutan metalografi menggunakan HCl, HF dan HNO₃ yang diproduksi oleh BrataChem®.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Persiapan Bahan

Bahan awal berupa serbuk ditimbang dan dibagi menjadi 4 variasi, dimana masing-masing variasi mempunyai berat 10 gram, dengan komposisi wt% sebagai berikut:

Tabel 1. Variasi Komposisi FeAl

Komposisi	Aluminium	Karbon	Krom	Besi
	wt%			
FL1	22	0.1	-	77.9
FL2	22	0.5	-	77.5
FL3	22	0.1	1	76.9
FL4	22	0.5	1	76.5

2.2.2 Planetary Ball Milling

8 November 2017

Proses *planetary ball milling* menggunakan alat dari *Across International* jenis PQ-N2. *Ball Mill* berupa bola baja dengan ukuran diameter 5 mm dan 10 mm. Rasio berat *ball mill* dengan serbuk yang digunakan adalah 5 : 1. *Milling* dilakukan selama 8 jam.

2.2.3 Karakterisasi Sampel

Sampel dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction Analysis* (XRD) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Serbuk pembentuk juga diamati dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

2.2.4 Kompaksi

Serbuk hasil *milling* kemudian dilakukan kompaksi pada alat *tablet press double action* dengan variasi tekanan 90 kgf/cm², 100 kgf/cm², dan 110 kgf/cm² selama 30 detik. Hasil kompaksi berupa *green body* berdiameter 11,4 mm dan tebal rata-rata 4 mm.

2.2.5 Sintering

Green body hasil kompaksi kemudian dilakukan *sintering* pada tungku *tube furnace* beratmosfir Argon dan Hidrogen 12%. Temperatur *sintering* mencapai maksimum 1250⁰C selama 2 jam.

2.2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan sampel dilakukan metode Rockwell HRF dengan mesin uji keras *Zwick-Roell*®.

2.2.7 Metalografi Sampel

Proses metalografi sampel diawali dengan pemotongan sampel, dilanjutkan dengan *mounting*, *grinding* dengan menggunakan kertas SiC grit 220 – 2000, *polishing*, dan pengetsaan dengan menggunakan larutan campuran 33% HNO₃ + 33% HCl + 33% H₂O + 1% HF di *swab* selama 3 detik.

2.2.8 Pengujian Porositas

Uji porositas dilakukan dengan cara metalografi. Sampel dilakukan *polishing* tanpa etsa dan kemudian diamati dengan *light microscopy*. Perhitungan porositas dari spesimen dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ kepada hasil *polish* spesimen.

8 November 2017

2.2.9 Pengujian Aus Erosi

Spesimen hasil proses sintering kemudian dilakukan uji keausan dengan metode *Air Jet Erosion Testing* dengan alat uji erosi tipe TR-470 sesuai dengan standar ASTM G76. Spesimen ditimbang sebelum dan sesudah pengujian untuk mendapatkan data keausan. Parameter pengujian aus adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter *Air Jet Erosion Tester*

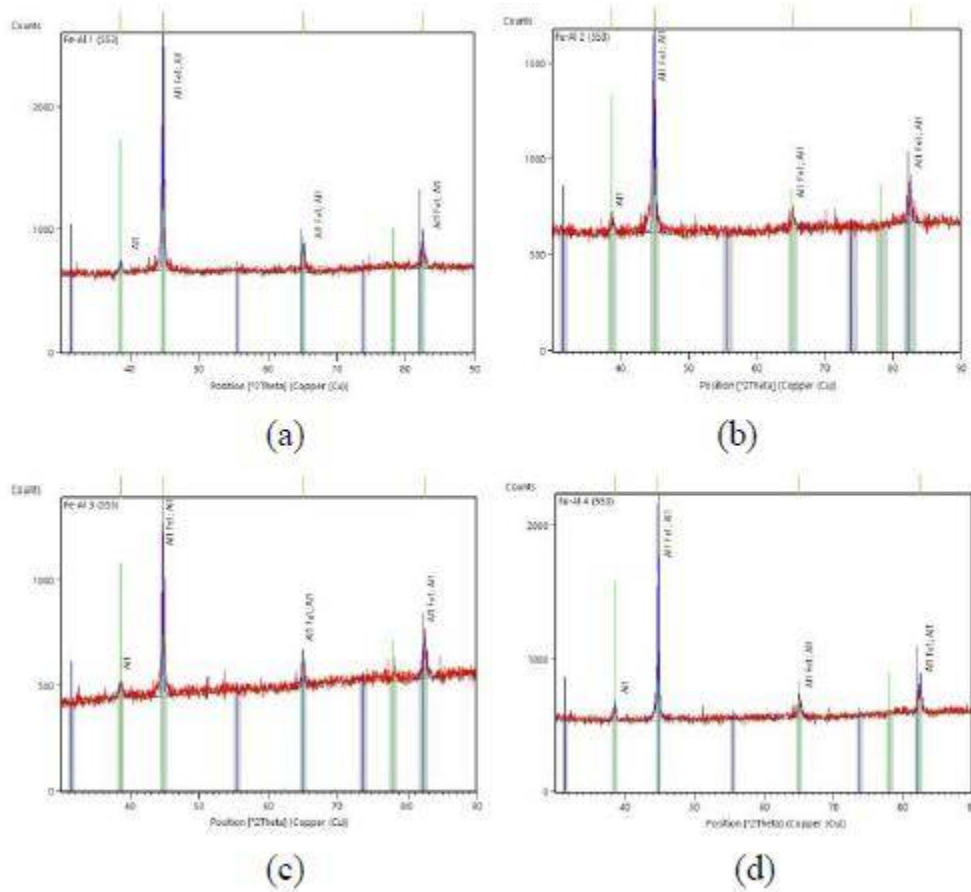
Parameter	Nilai
Feed Rate (gr/menit)	2,69
Tekanan Udara (kg/cm ²)	0,2
Kecepatan Partikel (m/s)	60
Waktu (menit)	10
Sudut Impak	90 ^o

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji XRD

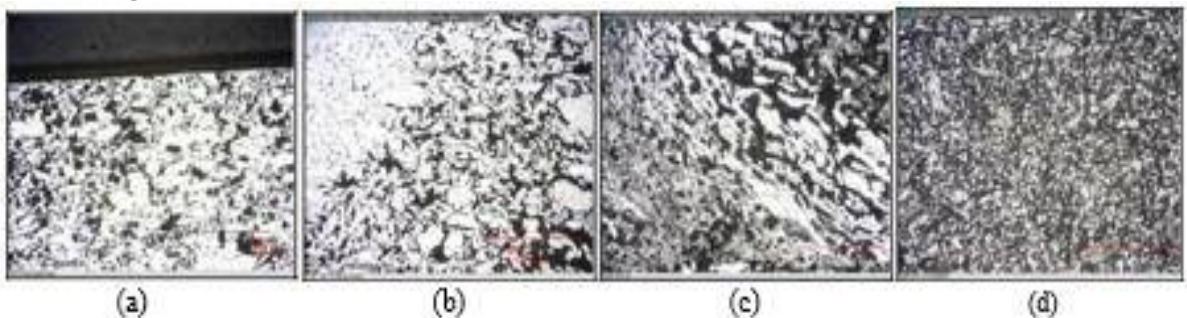
Dari hasil karakterisasi XRD, didapat senyawa Iron Aluminide (FeAl) hasil milling pada keempat variasi komposisi spesimen. Masih terdapat puncak aluminium yang kecil intensitasnya. Hal ini dapat terjadi dikarenakan proses milling tidak semuanya unsur aluminium membentuk FeAl. Diperlukan proses milling yang lebih lama daripada 8 jam untuk membuat serbuk semuanya berubah menjadi FeAl.

8 November 2017



Gambar 1. Hasil Kurva XRD Sampel (a) Fe-22Al-0,1C (b) Fe-22Al-0,5C (c) Fe-22Al-0,1C-1Cr (d) Fe-22Al-0,5C-1Cr

3.2 Hasil Metalografi

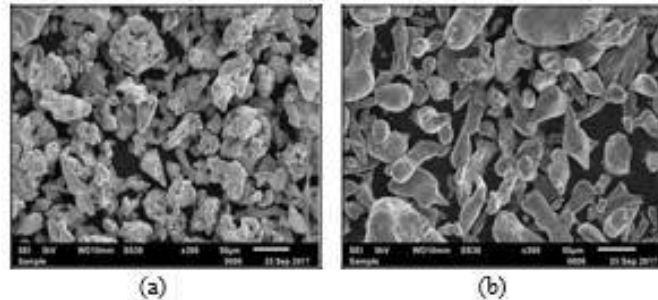


Gambar 2. Hasil Metalografi Spesimen (a) Hasil Polishing Spesimen Hasil Kompaksi 100 kgf/cm² (b) Hasil Polishing Spesimen Hasil Kompaksi 90 kgf/cm² (c) Hasil Etsa Spesimen Hasil Kompaksi 100 kgf/cm² (d) Hasil Etsa Spesimen Hasil Kompaksi 90 kgf/cm²

8 November 2017

Polishing memperlihatkan porositas yang didapat oleh spesimen, ditandai dengan warna hitam. Dari etsa FeAl belum didapat proses pengetsaan yang sesuai untuk mendapatkan struktur mikro yang diinginkan. Masih terdapat overetch pada beberapa bagian spesimen dan belum terbentuk fasa atau butir. Butuh studi lebih lanjut untuk melihat mikrostruktur dari FeAl.

3.3 Hasil Scanning Electron Microscopy – Electro Dispersive Spectroscopy



Gambar 3. (a) Gambar SEM Serbuk Fe Perbesaran 300x (b) Gambar SEM Serbuk Al Perbesaran 500x

Serbuk Fe dilihat bentuk dan ukurannya menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Sesuai referensi, terlihat bahwa morfologi serbuk menyerupai serbuk besi hasil pemrosesan *water atomization* [2]. Ukuran serbuk rata-rata dari serbuk Fe ini adalah 60, 24 μm . Pemrosesan serbuk Al pada percobaan ini menggunakan *water atomization*, sesuai dengan referensi gambar. Dari SEM diukur pula rata-rata ukuran serbuk Al ini yaitu 56,82 μm . Hasil analisis kuantitatif dari Electro-Dispersive Spectroscopy ditampilkan di table berikut

Tabel 3. Tabel Analisis Kuantitatif EDS

Unsur	(keV)	Mass%	Atom %
Karbon (C)	0.277	16.88	35.23
Oksigen (O)	0.525	6.38	9.99
Flouride (F)	0.677	10.52	13.88
Alumunium (Al)	1.486	23.23	21.58
Kromium (Cr)	5.411	0.64	0.31
Besi (Fe)	6.398	42.35	19.01
Total	100		100

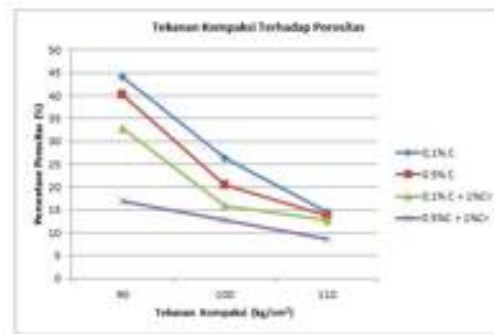
Hasil EDS spesimen menunjukkan persentase unsur yang terdapat pada permukaan spesimen setelah terjadi sintering. Presentase massa alumunium dan massa kromium hampir sama dengan unsur komposisi yang ditetapkan yaitu 22 wt% massa dan 1% massa. Unsur karbon yang besar dapat terjadi karena kontaminasi spesimen dengan *carbon tape* dan senyawa organic lainnya.

8 November 2017

Kadar O dapat berupa oksida pada lapisan intermetalik FeAl. Sementara adanya F merupakan sisa-sisa hasil *polishing* yang menggunakan pasta gigi.

3.4 Hasil Uji Porositas

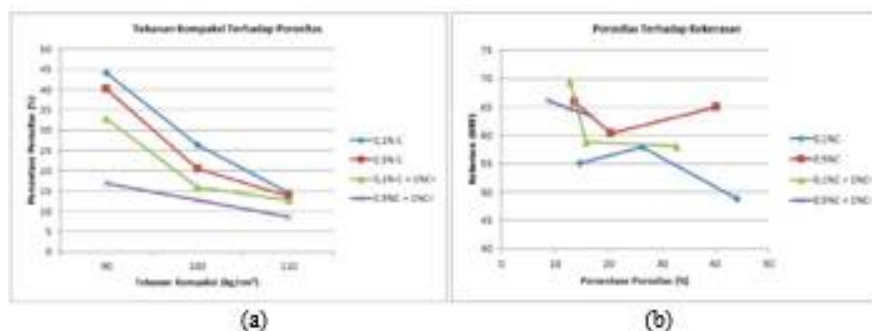
Secara keseluruhan, semakin tinggi tekanan, semakin kecil porositas yang didapat dari spesimen, untuk keempat jenis spesimen tersebut. Porositas dipengaruhi oleh salah satunya tekanan kompaksi dan sintering. Variasi siklus sintering tidak dilakukan dalam percobaan ini sehingga perbedaan porositas disebabkan oleh proses kompaksi spesimen. Hal ini sesuai dengan literatur dimana tekanan kompaksi yang makin tinggi akan menyebabkan semakin banyak serbuk yang berdekatan dan menambah titik kontak antar serbuk [3].



Gambar 4. Kurva Tekanan Kompaksi Terhadap Porositas

3.5 Hasil Uji Kekerasan

Kenaikan persentase porositas spesimen hasil sinter akan mempengaruhi kekerasan material. Dari kurva gambar 5b dapat diketahui bahwa untuk setiap spesimen, terjadi penurunan kekerasan seiring dengan meningkatnya porositas



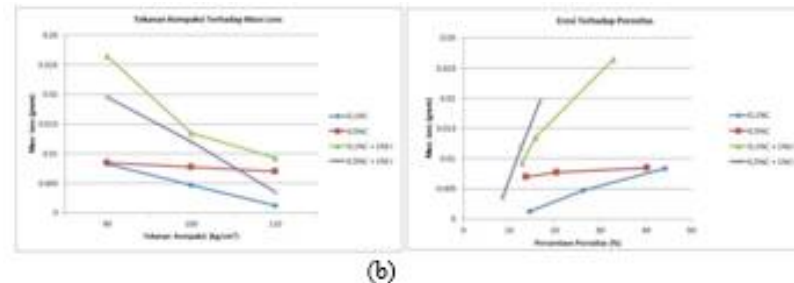
Gambar 5. (a) Tekanan Kompaksi Terhadap Porositas (b) Porositas Terhadap Kekerasan

8 November 2017

Hal ini dikarenakan porositas berpengaruh besar terhadap sifat mekanik produk hasil metalurgi serbuk. Porositas mempunyai efek negatif di antaranya terjadi konsentrasi tegangan, menghasilkan penampang yang tidak rata dan *work hardening* yang buruk dan juga dapat menjadi tempat *crack initiation*. Bentuk, jarak, ukuran dan penempatan porositas akan berpengaruh pada sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan [4]. Ketidakteraturan pada kekerasan spesimen pada kenaikan porositas dapat dipengaruhi oleh penempatan porositas dimana uji kekerasan dapat dilakukan pada permukaan yang memiliki persentase porositas lebih tinggi dibanding permukaan lainnya, atau sebaliknya. Bentuk dan ukuran porositas juga dapat mempengaruhi ketidakakuratan pengujian kekerasan.

3.6 Hasil Uji Erosi

Semakin besar massa yang hilang dari pengujian erosi, semakin rendah ketahanan aus erosi dari material tersebut. Di setiap komposisi, tekanan kompaksi yang semakin rendah akan menghasilkan pengurangan massa material yang makin besar juga akibat aus erosi. Tekanan kompaksi tinggi akan mengurangi porositas dari produk metalurgi serbuk.



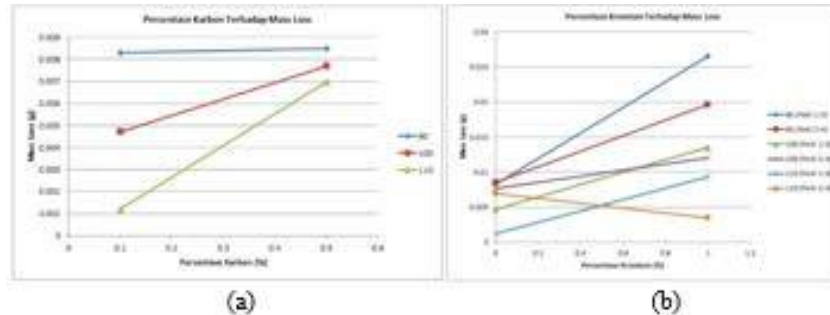
Porositas yang rendah akan meningkatkan sifat mekanik dari produk metalurgi serbuk sehingga dapat terlihat pada gambar 6a bahwa ketahanan erosi yang tinggi terjadi saat tekanan kompaksi yang lebih tinggi. Pada setiap komposisi, semakin besar porositas semakin besar pula massa yang hilang akibat uji erosi. Ketahanan aus erosi akan semakin berkurang dengan bertambahnya porositas. Dari kurva gambar 6b didapat bahwa rata-rata penambahan persentase porositas sebesar 1% akan menambah *mass loss* FeAl sebesar 0,0029 gram.

3.7 Penambahan Karbon dan Kromium Terhadap Ketahanan Aus Erosi

Semakin besar persentase penambahan karbon, semakin turun ketahanan aus erosinya. Kant et al [5] dalam papernya menemukan bahwa FeAl dengan kandungan karbon yang lebih

8 November 2017

tinggi akan mempunyai kekerasan lebih tinggi dikarenakan adanya pembentukan karbida $\text{Fe}_3\text{AlC}_{0,5}$ yang berjumlah tinggi dan adanya grafit di beberapa tempat pada FeAl.



Gambar 7. (a) Persentase Karbon Terhadap *Mass Loss* (b) Persentase Kromium Terhadap *Mass Loss*

yang menyebabkan ketahanan aus abrasive makin tinggi. Dari kurva gambar 7a didapat bahwa rata-rata penambahan 1% karbon menambah *mass loss* sebesar 0,0075 gram.

Penambahan kromium secara garis besar juga menghasilkan penurunan ketahanan aus erosi pada FeAl. Kromium merupakan unsur *alloying* yang mempunyai efek penguatan pada paduan dimana kromium juga meningkatkan ikatan interatomic yang dimana akan juga meningkatkan energi dislokasi sehingga butuh energi tinggi untuk terbentuknya dislokasi [6].

Dari kurva gambar 7b didapat bahwa rata-rata penambahan 1wt% kromium akan menambah *mass loss* FeAl sebesar 0,0078 gram.

Sundararajan [7] dalam papernya menyatakan bahwa kenaikan kekerasan pada paduan tidak mempengaruhi ketahanan erosi, bahkan bisa menurunkan ketahanan erosinya. Hal ini disebabkan karena aus erosi merupakan kondisi adiabatik yang berbeda dengan aus abrasif karena waktu kontak yang kecil antara material pengerosi dengan material tererosi. Pada kondisi adiabatik, kenaikan kekuatan akan menurunkan critical strain untuk lokalisasi deformasi, dimana akan terbentuk lip atau chip pada material. Kekerasan material yang semakin tinggi berarti sifat mekanik semakin tinggi yang menyebabkan semakin mudah terbentuk lip spesimen tersebut.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan ialah:

1. Peneliti berhasil melakukan produksi intermetalik FeAl dengan doping karbon dan kromium melalui jalur metalurgi serbuk

2. Doping karbon (C) dan kromium (Cr) akan menghasilkan peningkatan kekerasan dari FeAl yang akan menurunkan ketahanan erosi disebabkan oleh lokalisasi deformasi akibat kondisi adiabatik aus erosi
3. Ketahanan erosi intermetalik FeAl paling dipengaruhi oleh doping dari material tersebut dibandingkan dengan porositas.

REFERENSI

1. S. Deevi and V. Sikka, "Nickel and Iron Aluminides: an Overview on Properties, Processing and Applications," *Intermetallics*, vol. 4, pp. 357-375, 1996.
2. ASM International, *ASM Handbook Volume 7: Powder Metallurgy*, ASM International, 1992.
3. S. Tsukerman, *Powder Metallurgy*, Oxford: Pergamon Press, 1965.
4. R. M. German, *Powder Metallurgy Science* (Princeton: Metal Powder Industries Generation, 1984.)
5. R. Kant, U. Prakash, V. Agarwala and S. Prasad, "Wear Behaviour of an FeAl Intermetallic Alloy Containing Carbon and Titanium," *Intermetallics*, vol. 61, pp. 21-26, 2015.
6. M. Zamanzade, A. Barnoush and C. Motz, "A Review on the Properties of Iron Aluminide Intermetallics," *Crystals*, 2016.
7. G. Sundararajan, "The Differential Effect of the Hardness of Metallic Materials on Their Erosion and Abrasion Resistance," *Wear*, Vols. 162-164, pp. 773-781, 1993.

Pengaruh Perlakuan Panas Nyala Api Terhadap Kenaikan Dan Keseragaman Nilai Kekerasan Pada Material Pisau APPO

Norman Iskandar^{1, a)}, Rifky Ismail^{2, b)}, Deni Fajar Fitriyana^{3, c)}, & Bambang Parada Nugraha Malau^{4, d)}

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

³Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

⁴Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

^{a)}norman.undip@gmail.com ^{b)}ismail.rifky@gmail.com ^{c)}deniifa89@gmail.com

^{d)}nugraharada@gmail.com

Abstract.

Permasalahan penting dalam industri teknologi pengolahan pertanian adalah standarisasi kualitas dari produk mesin pertanian, biaya produksi mesin dan sinergi antara pelaku pendidikan dan pelaku industri untuk menjalankan keberlangsungan ekonomi dalam jangka panjang. Salah satu permasalahan yang ada dalam proses produksi mesin pertanian yaitu belum bisa dilakukannya pengujian yang memadai tentang sifat mekanik terhadap bahan baku. Pada produk Alat Pencacah Pupuk Organik (APPO) komponen pisau APPO merupakan komponen yang banyak mendapatkan keluhan oleh konsumen terkait unjuk kerjanya. Pisau APPO yang ada dianggap kurang memiliki ketangguhan dan memiliki sifat keausan yang tinggi. Dalam penelitian kali ini, akan diuji jenis material pisau APPO yang dipakai oleh IKM serta akan diuji juga sejauh mana pengaruh teknik pengerasan yang dilakukan oleh IKM terhadap nilai kekerasan dan tingkat kerataan nilai kekerasan pada pisau APPO tersebut. Metode perlakuan panas yang diterapkan adalah metode nyala api dengan menggunakan satu nyala api dengan laju pemanasan sekali. Media pendingin yang digunakan adalah air. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi material, pengujian kekerasan serta pengujian struktur mikro. Dari hasil uji komposisi kimia maka didapatkan data bahwa material yang digunakan sebagai bahan baku pisau APPO adalah jenis baja paduan rendah karbon menengah (low alloy-medium carbon steels). Dari hasil pengujian didapatkan data bahwa dari kekerasan awal 19,2 HRC, kekerasan pisau APPO bisa naik sampai 51,5 HRC.

8 November 2017

Dengan jenis nyala api yang dipilih dan laju pergerakan api yang dilakukan, tingkat kekerasan yang dihasilkan tidak bisa rata seragam. Dari hasil uji struktur mikro pada permukaan pisau setelah dilakukan proses pemanasan disertai *quenching*, ukuran butir pada kedua permukaan pisau mengecil. Hal ini membuktikan bahwa *fine grain* (ukuran butir yang kecil) lebih keras dan kuat dari pada *coarse grain* (butir kasar).

Kata kunci: *flame hardening, pisau APPO, uji kekerasan, low alloy-medium carbon steels*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Alat pencacah pupuk organik (APPO) merupakan salah satu produk alat pertanian yang menggunakan mekanisme potong *rotary* dengan menggunakan tenaga penggerak motor bakar. Mesin pencacah ini memotong bahan organik berserat yang berupa tanaman/tumbuhan dan sisa hasil pertanian lain menjadi potongan yang lebih kecil. Di bawah ini merupakan tampak visual pisau APPO seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Pisau APPO sebelum pengerasan

Secara geometri produk pisau APPO sudah cukup baik dan hampir tidak ada komplain dari konsumen. Keluhan konsumen terhadap pisau APPO adalah aspek ketahanan pisau yang masih lemah. Indikasinya adalah umur pisau APPO yang relatif pendek sehingga harus sering melakukan pergantian. Selain kerugian waktu dan kapasitas produksi dikhawatirkan terlalu seringnya bongkar pasang pisau APPO berakibat kepada ketahanan mesin secara keseluruhan juga menurun. Mekanisme pemotongan dari mesin tersebut terdiri dari susunan pisau baja yang memiliki ujung tajam. Susunan pisau ini bertumbukan dan bergesekan secara langsung dengan bahan organik berserat sehingga akan mengalami keausan. Susunan pisau APPO dapat diperhatikan seperti gambar 1.2 dibawah ini.

8 November 2017



Gambar 1.2 Susunan pisau APPO

Karakteristik pisau yang dibutuhkan untuk APPO yaitu pisau yang mempunyai sifat mekanis tertentu dimana pada bagian mata pisau bersifat keras dan bagian belakang pisau bersifat ulet sehingga kombinasinya akan menjadikan sifat tangguh pada pisau. Untuk mendapatkan sifat tersebut, pisau harus mendapatkan satu perlakuan pengerasan permukaan (*Surface Hardening*) pada daerah mata pisau. Metode pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya adalah *flame hardening*, *induction hardening*, *laser hardening*, *electron beam hardening*, *ion implantation*, *selective carburizing* dan *nitriding*.

Produsen pisau APPO sebenarnya sudah menerapkan metode *flame hardening* namun dari hasil proses tersebut mereka belum mengetahui secara kuantitatif seberapa baik capaiannya. Namun persepsi secara kualitatif yang diterima oleh produsen bahwa performa pisau APPO belum memuaskan konsumen. Pertanyaan yang muncul pada pihak produsen adalah apakah memang proses *flame hardening* sebenarnya bisa memenuhi harapan kekerasan yang ingin dicapai pada material bahan baku yang digunakan? Jika bisa, maka tahapan proses *flame hardening* yang benar dan menghasilkan hasil yang optimal adalah seperti apa?. Namun jika proses *flame hardening* tidak bisa memenuhi harapan kualitas pisau APPO, kira-kira metode apa yang bisa memenuhinya namun dengan biaya yang efisien?.

Disini terlihat bahwa ada permasalahan tentang pemahaman bahan baku yang kurang serta proses pengerasan permukaan yang kurang dipahami dengan baik. Secara umum dalam industri manufaktur untuk keperluan dibidang agrikultur banyak menggunakan baja karbon dengan kandungan 0.55 sampai 1.00 % C.. Baja ini dibuat dengan berbagai paduan dengan kombinasi dari karbon dan mangan (Mn) untuk dapat di keraskan sehingga nantinya memiliki sifat tangguh dan memiliki ketahanan abrasi.

8 November 2017

Bahan yang digunakan untuk pisau potong sangat beragam disesuaikan jenis bahan yang akan di potong. Pisau potong untuk rumput dan biji-bijian biasanya terbuat dari baja 1090 atau 1095 karena kadar kandungan karbon yang tinggi. Pengerasan pisau pada bagian tertentu dilakukan dengan pemanasan induksi atau *furnace* yang memiliki sekat yang memungkinkan pisau tersebut dipanaskan hanya pada bagian tertentu saja. Setelah dipanaskan pisau di beri perlakuan *quenching* dengan oli dan diberi perlakuan *tempering* pada temperature rendah. Kekerasan pada mata pisau sekitar 55 sampai 60 HRC. (ASM Vol.1, 1990). Untuk peralatan agrikultur karakteristik pisau yang sesuai adalah pisau yang memiliki sifat keras (*hardness*), agar tidak mudah aus serta tangguh (*toughness*), agar tidak mudah patah ataupun retak.

Proses pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja hingga temperatur austenisasi lalu ditahan pada temperatur tersebut untuk waktu yang tertentu untuk memastikan keseragaman pemanasan dan agar seluruh baja berubah menjadi fase *austenit*, kemudian baja didinginkan dengan cepat (*quenching*) dengan menggunakan media pendinginan yang tepat Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil pengerasan adalah laju pendinginan. Untuk mendapatkan hasil yang baik, diperlukan pendinginan (*quenching*) yang sangat cepat. Akan tetapi laju pendinginan yang terlalu cepat akan menyebabkan retak, bengkok, ataupun distorsi pada material. Semakin besar dimensi (*massa*) material, laju pendinginan akan semakin menurun. Oleh karena itu pemilihan media pendinginan harus tepat agar dapat mendinginkan material dengan laju pendinginan yang tepat untuk mendapatkan hasil yang di inginkan.

Hal yang penting lainnya dalam pemanasan baja adalah memastikan jenis baja yang dipanaskan mencapai suhu austenisasi berdasarkan diagram Fe-Fe₃C. Salah satu cara sederhana untuk mengetahui temperatur pemanasan dari baja adalah dengan memperhatikan warna nyala permukaan baja saat dipanaskan. Pada temperature tinggi nyala baja yang dipanaskan akan semakin terang, hal ini dapat di perhatikan pada tabel 1.1 mengenai korelasi perubahan warna nyala baja karbon ketika dipanaskan (Rudnev, 2003).

Tabel 1.1 Korelasi warna nyala baja karbon dengan kenaikan temperatur.

Temperature (^o C)	Temperature (^o F)	Color
560-680	1040-1256	Dark red
700-780	1292-1436	Cherry red
800-880	1472-1616	Bright Cherry
900-980	1652-179	Orange red
980-1100	1796-2012	Orange yellow
1100-1250	2012-2282	Bright yellow
1280	2336	White

Pada penelitian ini, penulis fokus untuk membahas metode *flame hardening* (pengerasan nyala api) yang digunakan oleh produsen pisau APPO. Kajian yang dilakukan meliputi kajian terhadap tahapan dan proses *flame hardening* yang selama ini operator lakukan. Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian kekerasan dan analisa foto mikrografi dari pisau APPO hasil produksi IKM dengan pengerasan menggunakan metode *flame hardening* (pengerasan nyala api).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan baku material pisau APPO yang dimiliki oleh IKM serta karakteristik perubahan kekerasan pasca dilakukan pengerasan dengan metode nyala api. Terkait nilai kekerasan, titik tekan yang akan diteliti yaitu tentang seberapa besar kenaikan nilai kekerasan yang terjadi pada material pisau APPO dan bagaimana tingkat kerataan/keseragaman kenaikan nilai kekerasan yang terjadi pada seluruh area pisau yang dikenai proses nyala api.

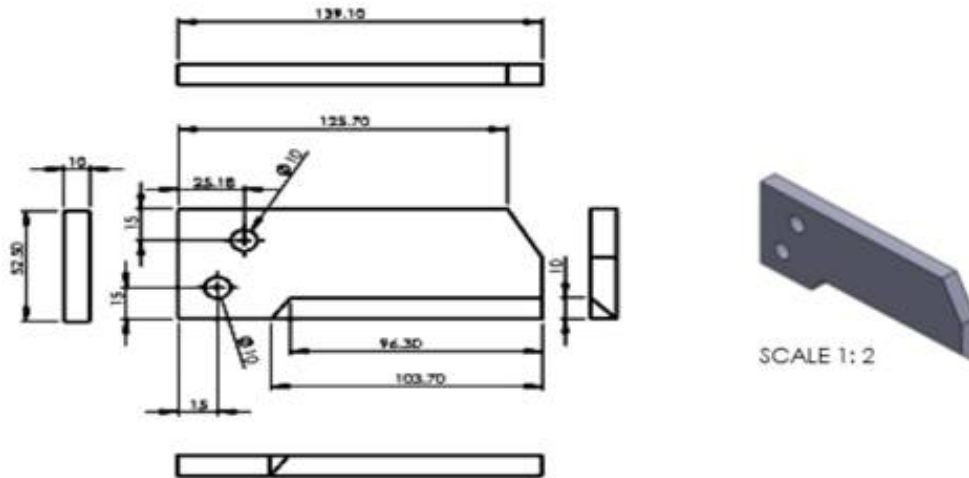
3. MATERIAL DAN METODE

3.1 Material

Bahan dasar spesimen merupakan plat baja dengan panjang 600 mm, lebar 55 mm, tebal 10 mm. Dimensi plat baja hanya dikurangi pada bagian memanjang dan pada bagian tepi memanjang dikurangi sebesar 45° untuk menghasilkan mata pisau yang tajam. Proses pemotongan plat baja dilakukan di bengkel IKM, dengan menggunakan mesin gerinda.

Bentuk dari pisau APPO bisa dilihat pada gambar 2.1 dimana dimensi dari pisau APPO yang akan diuji yaitu memiliki ukuran panjang 140 mm, lebar 52,5 mm, tebal 10 mm, sudut tajam 45°, dan terdapat dua lubang dengan diameter 10 mm.

8 November 2017



Gambar 2.1 Bentuk dan dimensi pisau APPO produksi IKM.

Pisau APPO yang diambil ada dua jenis yaitu pisau yang sudah dibentuk namun belum dilakukan perlakuan panas serta pisau yang sudah dibentuk dan dilakukan perlakuan panas. Pada pisau yang belum dilakukan perlakuan panas akan dilakukan uji komposisi, uji kekerasan serta uji struktur mikro untuk memastikan jenis dan kandungan unsur dari material bahan baku pisau. Pada pisau yang sudah dilakukan perlakuan panas akan diuji kekerasan serta uji struktur mikro untuk mengkonfirmasi pengaruh *flame hardening* terhadap kekerasan pisau. Metode *flame hardening* yang dilakukan menggunakan peralatan las oksasi-asetilen sebagai sumber nyala api dan menggunakan media pendingin air sebagai media *quenching* nya.

2.2 Metode

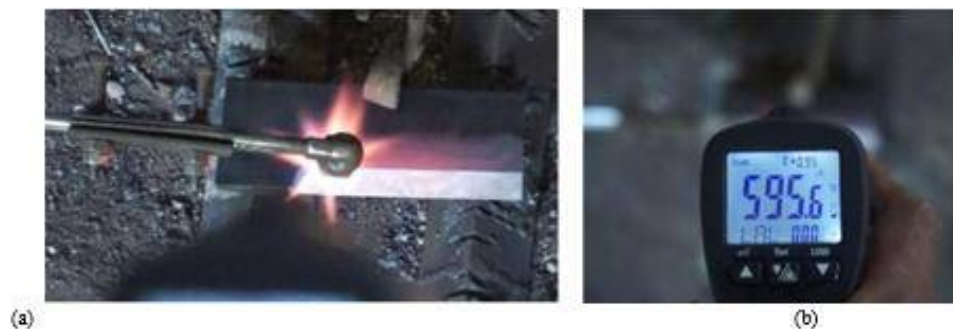
Pengujian pemanasan nyala api dilakukan dengan nyala api dari las oksasi-asetilen, Pengujian pemanasan nyala api dilakukan pada pisau dengan media pendingin air. Parameter pemanasan yang dilakukan adalah pemanasan pada sisi miring pisau dan sisi mendatar yang dekat dengan mata pisau sampai permukaan mata pisau menyala merata sepanjang daerah landai pisau. Pola gerakan nyala api dan lama waktu dari pemanasan disesuaikan agar kondisi nyala merata pada mata pisau tercapai. Temperatur spesimen yang dibaca alat ukur setelah pemanasan selama 2 menit 33 detik adalah 595°C . Rentang waktu pendinginan yang dilakukan adalah 1 detik, pendinginan dilakukan menggunakan media pendingin air. Rangkuman tentang parameter proses perlakuan panas metode *flame hardening* yang biasanya dilakukan oleh operator dapat dilihat pada tabel 2.1.

8 November 2017

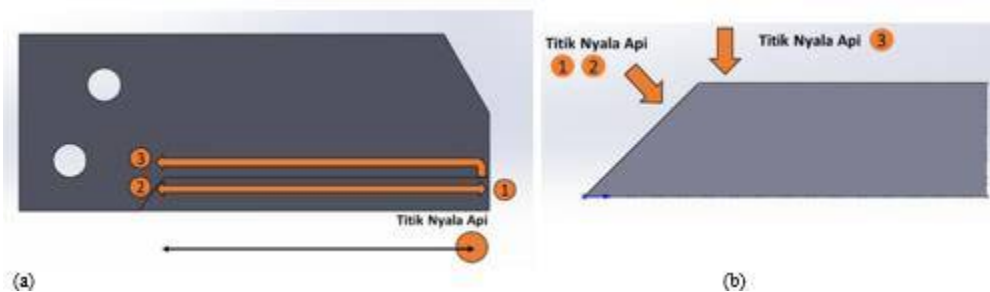
Pemanasan nyala api diberikan pada sisi miring mata pisau kemudian pada sisi mendatar seperti di tunjukkan gambar 2.2 dan gambar 2.3. Pola gerakan ujung nozel sumber nyala api dilakukan dengan gerakan bolak-balik dari ujung kanan pisau ke bagian kiri dari pisau dan tegak lurus terhadap permukaan pisau yang landai.

Tabel 2.1 Parameter Pengerasan nyala api

Pengerasan Nyala Api	
Alat pemanas	Las Oksi-Asetilen
Media <i>quench</i>	air
Jenis nyala api	Nyala Netral
waktu pemanasan	2 menit 33 detik
suhu	595 °C
waktu <i>quenching</i>	1 detik



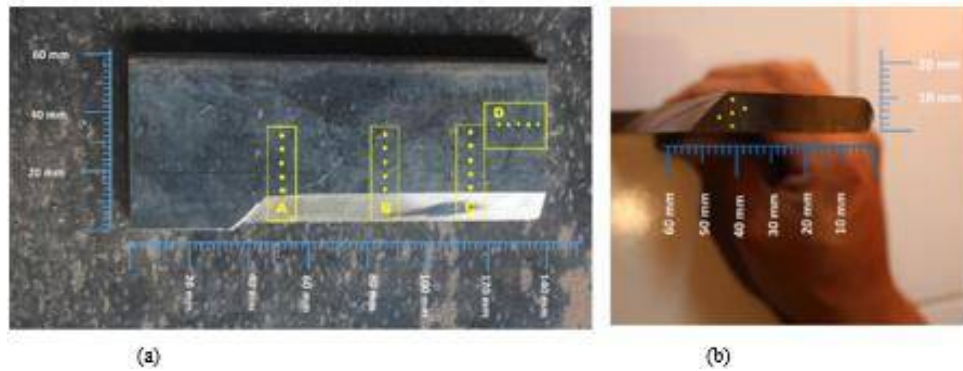
Gambar 2.2 Pemanasan menggunakan las oksidasi-asetilen (a) Posisi terakhir titik nyala api (b) Suhu pisau sebelum *quenching*



Gambar 2.3 Pola pemanasan (a) pola gerakan pemanasan dari posisi 1 ke 2 kembali ke-1 dan berakhir di 3 (b) daerah perlakuan panas pada sisi miring dan mendatar

Pengujian kekerasan merupakan rangkaian pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekerasan pisau setelah proses perlakuan panas dan *quenching* dilakukan pada benda uji. Pengujian kekerasan dilakukan pada area permukaan pisau dan pada bagian samping pisau seperti terlihat pada gambar 2.4.

8 November 2017



Gambar 2.4 Area pengujian kekerasan pada pisau (a) titik uji kekerasan pada permukaan (b) titik uji kekerasan pada bagian kedalaman Area A, B, C, dan D merepresentasikan persebaran kekerasan pada permukaan pisau setelah perlakuan panas yang berbedadisertai *quenching* air. Pengambilan *sample* kekerasan dilakukan pada permukaan area A, B, C, dan D masing-masing sebanyak 5 titik, dengan titik uji 1 merupakan bagian tepi pisau, titik 2 dan seterusnya menjauh ke bagian tengah pisau. Pada bagian samping dilakukan juga pengambilan *sample* kekerasan sebanyak 5 titik untuk tingkat kedalaman 2 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, dan 8 mm dari permukaan pisau pada setiap area A, B, C, dan D.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan pada spesimen uji sebelum diberikan perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur kimia yang terkandung dalam spesimen uji. Pengujian komposisi bahan menggunakan alat *spectrometerthermoscientific*. Tabel 3.1 berikut menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia untuk material uji.

8 November 2017

Tabel 3.1 Komposisi Unsur Material Pisau

No	Unsur	AISI 5145 (wt %)	Pisau APPO (wt %)
1	C	0.43-0.48	0.4437 - 0.4935
2	Mn	0.70-0.90	0.7574 - 0.7705
3	P	0.035	0.7160 - 0.7268
4	S	0.04	0.2470 - 0.2541
5	Si	0.15-0.30	0.0211 - 0.0219
6	Cr	0.70-0.90	0.0110 - 0.0112
7	Ni	-	0.0106 - 0.0112
8	Mo	-	0.0407 - 0.0411
9	V	-	0.002

Berdasarkan Tabel 3.1, dapat diketahui material pisau merupakan baja paduan rendah karbon menengah (*low alloy-medium carbon steels*), memiliki kandungan Fe sebesar 97.3891% dan kandungan *carbon* (C) sebesar 0.4686%. Dengan diketahuinya kedua unsur tersebut, maka material pisau dari ikm dapat dikategorikan sebagai baja karbon menengah karena kadar karbonnya berada di antara 0,25%-0,60%. Berdasarkan kadar unsur paduan dari tabel 3.1.jenis baja karbon dari pisau APPO di kategorikan sebagai jenis baja *chromium steels* dan tergolong sebagai baja karbon AISI 5145 (ASM Handbook Vol. 1, 1990).

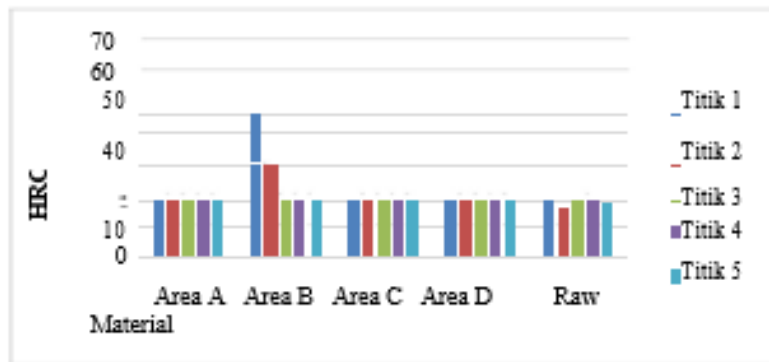
3.2 Uji Kekerasan

Untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen ini, dilakukan uji kekerasan makro *Rockwell*. Pengujian kekerasan makro *Rockwell* pada penelitian ini menggunakan pembebanan sebesar 150 kgf dengan waktu pembebanan selama 30 detik dalam hal ini dikenal sebagai nilai *Hardness Rockwell C* (HRC). Hasil pengujian kekerasan pada permukaan pisau dengan perlakuan panas nyala api disertai *quenching* air dapat dilihat pada table 3.2 dan gambar 3.1. Sedangkan hasil pengujian kekerasan pada bagian kedalaman pisau dengan perlakuan panas nyala api disertai *quenching* air dapat dilihat pada table 3.2 dan gambar 3.2.

8 November 2017

Tabel 3.2 Hasil Uji Kekerasan Makro pada Permukaan Pisau (HRC)

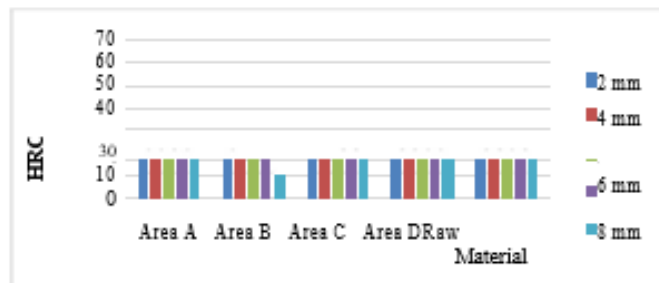
Titik	Area A	Area B	Area C	Area D	Raw material
1	22.5	51.5	21.5	22	20
2	24.5	36	23.5	27	15
3	25.5	25.5	23	26	22.5
4	26	27	23	24	20.5
5	26.5	26.5	23	22.5	18



Gambar 3.1 Grafik nilai kekerasan makro pada permukaan pisau.

Tabel 3.2 Hasil Uji Kekerasan Makro pada Bagian Kedalaman Pisau

Kedalaman (mm)	Area A	Area B	Area C	Area D	Raw material
2 mm	27	26	19.5	22.5	26.5
4 mm	27	21.5	18.5	23	25.5
5 mm	25	19	24.5	21	28.5
6 mm	24	17.5	24	23.5	27
8 mm	23	10.5	20.5	22	26



Gambar 3.2 Grafik nilai kekerasan makro pada bagian kedalaman pisau.

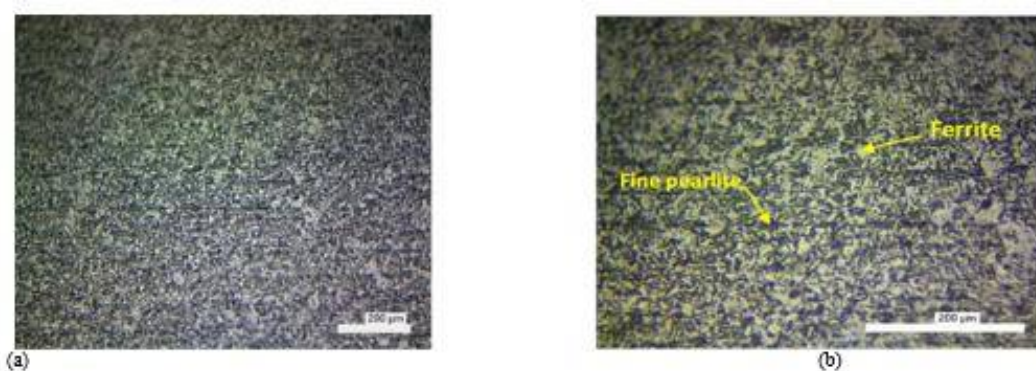
8 November 2017

Dari data hasil uji kekerasan pada permukaan pisau pemanasan nyala api, pengaruh parameter pemanasan nyala api terhadap kekerasan pada bidang mendatar pisau tidak terdapat kenaikan kekerasan merata pada area *sample* pengujian. Kenaikan nilai kekerasan yang signifikan hanya terdapat pada satu titik uji yaitu titik uji 1 di area B yakni sebesar 51,5 HRC. Hal ini menunjukkan pengaruh parameter pemanasan nyala api pada mata pisau tidak menghasilkan persebaran kekerasan merata pada bidang mendatar area *sample* pisau. Untuk tingkat pengerasan bagian kedalaman pisau tidak terdapat kenaikan kekerasan yang signifikan pada tingkat kedalaman pada area *sample* setelah pemanasan nyala api.

3.3 Struktur Mikro

Pada pengujian struktur mikro pengamatan mikrografi dilakukan pada daerah permukaan pisau. Pada spesimen uji diambil satu titik pengamatan pada bidang permukaan yang tidak dipanaskan (area R) dan satu titik pengamatan pada bidang permukaan yang dipanaskan untuk setiap pisau, Titik pengamatan mikrografi pada *sample* area pemanasan (area A, B, dan C) di ambil pada area kekerasan tertinggi dari hasil uji kekerasan makro. Foto mikrografi dari spesimen uji diambil dengan perbesaran 100x dan 200x.

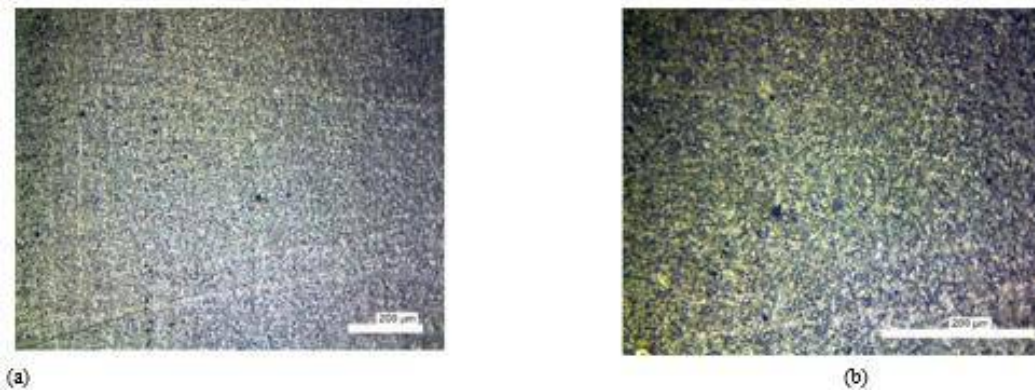
Titik pengamatan ini diambil sebagai daerah pembanding untuk struktur mikro pisau setelah dipanaskan disertai *quenching*. Pada pengujian ini daerah pengamatan berada di permukaan area R dari spesimen yang tidak terkena perlakuan panas langsung. nilai kekerasan rata-rata pada area R sebesar 19,2 HRC. Hasil foto mikrografi pada daerah tersebut dapat di lihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Struktur mikro pisau pada bidang yang tidak dipanaskan (a)100x (b)200x.

8 November 2017

Pada gambar 3.4 dapat dilihat hasil foto mikrografi untuk spesimen perlakuan panas nyala api. Daerah pengamatan mikrografi diambil di sekitar titik 1 area B. Pada daerah ini didapat kekerasan tertinggi mencapai 51.5 HRC.



Pada Gambar 3.3 sampai 3.4 dapat dilihat struktur mikro pada permukaan pisau setelah dilakukan proses pemanasan disertai *quenching*, ukuran butir pada kedua permukaan pisau mengecil. Hal ini membuktikan bahwa *fine grain* (ukuran butir yang kecil) lebih keras dan kuat dari pada *coarse grain* (butir kasar) (Callister, 2007). Perbesaran 200x pada foto mikrografi belum dapat menjelaskan terjadinya struktur martensit pada spesimen yang dikeraskan dengan pemanasan induksi dan pemanasan nyala api.

4 KESIMPULAN

Proses pengerasan dengan nyala api yang dilakukan operator IKM sebenarnya mampu menaikkan kekerasan pisau dua kali lipat dari nilai kekerasan awal yaitu dari rata-rata 19,2 HRC menjadi 51,5 HRC. Hal ini terlihat pada permukaan area *sample* uji B. Metode proses pengerasan nyala api yang dilakukan oleh operator tidak menghasilkan kekerasan merata pada permukaan dan kedalam material pisau APPO. Terjadi pengecilan ukuran butir pada struktur mikro pisau setelah dilakukan proses pemanasan dengan pemanasan nyala api.

Untuk mampu menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi dengan tingkat persebaran kekerasan yang lebih merata maka pada pemanasan menggunakan las oksasi-asetilen, diperlukan perubahan metode seperti dengan penggunaan lebih dari satu nozel nyala api disesuaikan dengan area yang ingin dikeraskan.

8 November 2017

REFERENSI

ASM, (1990) *ASM Handbook Volume 1. Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloy*. ASM International. USA.

Callister, W. D. and Rethwisch, D. G. (2007) *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. John Wiley & Sons, Inc. USA.

Rudnev V. I., Loveless D., Cook R., 2003, *Handbook of Induction Heating*, Marcel Decker, Inc., New York.

Pengaruh Proses Pembentukan Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja Tahan Karat Martensitik

Toni Bambang Romijarso ^{1,a)}, Bintang Adjiantoro ^{1,b)}, & Efendi ^{1,c)}

¹, Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI, Kota Tagerang Selatan.

a) tonibr2000@yahoo.com b) bintangadjiantoro@yahoo.co.id c) effendi_lipi@yahoo.com

Abstrak

Pembentukan dengan proses tempa cetakan terbuka pada baja tahan karat martensitik, mempunyai pengaruh terhadap struktur mikro dan sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja tersebut. Pada penelitian ini ada empat baja dengan komposisi yang dibuat berbeda, pengamatan dilakukan terhadap struktur mikro dan harga kekerasan yang dicapai. Struktur mikro yang terjadi pada baja tersebut adalah delta ferit. Perbedaan nilai kekerasan antara hasil cor dan tempa cetakan terbuka tidak terlalu tinggi, hasil uji keras rata-rata baja cor terendah adalah 39,31 sedangkan tertinggi 47,23 HRc. Untuk hasil tempa cetakan terbuka, harga kekerasan terendah adalah 41,83 HRc, sedangkan kekerasan tertinggi 48,61 HRc.

1. PENDAHULUAN

Baja tahan karat martensitik banyak digunakan pada berbagai aplikasi di industri, salah satunya adalah pada sudu turbin. Sudu turbin pada pembangkit listrik tenaga uap merupakan komponen yang kritis yang berfungsi mengubah energi dari aliran uap menjadi energi mekanik yang memutar poros turbin ^[1]. Sudu turbin tersebut bekerja pada putaran yang tinggi dan dalam lingkungan yang korosif sehingga rentan terhadap kegagalan, terutama pada suhu turbin bertekanan rendah ⁽¹⁾. Pada umumnya bahan baku sudu turbin uap menggunakan bahan baja tahan karat martensitik tipe 13Cr, karena memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik ⁽¹⁾. Untuk meningkatkan kinerja bahan turbin tersebut, maka dilakukan modifikasi komposisi kimia, karena sifat mekanik dari baja tahan martensitik tersebut salah satunya dipengaruhi oleh komposisi kimia. Baja tahan karat tipe martensitik merupakan material yang mempunyai paduan besi-kromium-karbon dengan kandungan unsur kromium antara 11.5% sampai dengan 18%. Selain itu unsur karbon yang terkandung maksimal dapat mencapai 1,2 %. Material tipe ini mempunyai struktur kristal *body centered cubic (BCC)* yang menyimpang pada kondisi setelah dikeraskan.

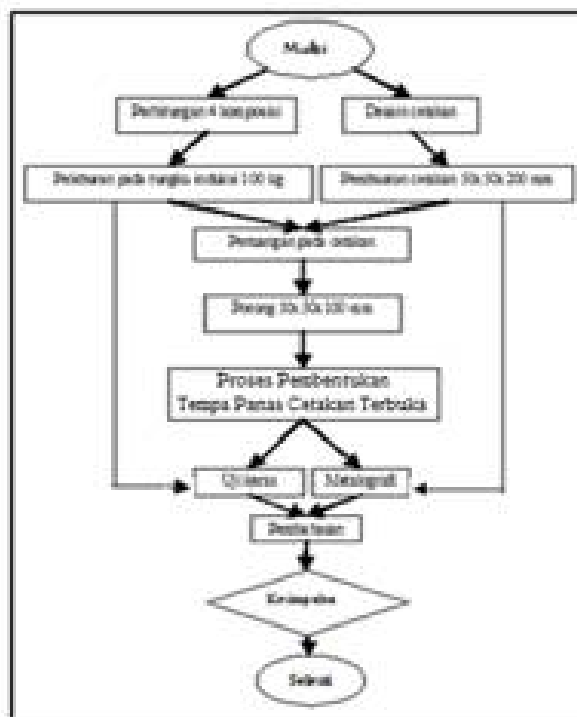
8 November 2017

Mempunyai sifat yang dapat dikeraskan dan ketahanan korosinya hanya mampu sampai pada lingkungan korosif yang bersifat menengah. Pada penelitian ini ada empat perbedaan komposisi baja yang dibuat. Untuk pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik, sedangkan uji keras menggunakan metoda *Hardness Rockwell C (HRC)*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat yang terjadi pada baja hasil pengecoran yang berbeda komposisi kimia tersebut. Dari seluruh sampel yang dibuat, akan dilihat perbedaan pengaruh pembentukan yang dilakukan dengan cara proses tempa panas cetakan terbuka, terhadap perubahan yang ada.

2. PERCOBAAN

Agar mempermudah pelaksanaan percobaan, maka dilakukan pengkodean terhadap sampel material. Sampel baja yang didisain terdiri dari empat komposisi yang berbeda, dimana perbedaannya adalah pada kandungan Molibdenum (Mo) dan Nikel (Ni). Baja dengan komposisi pertama berkode CS1, kedua berkode CS2, ketiga berkode CS3 dan komposisi keempat berkode CS4. Pembuatan sampel menggunakan proses pengecoran dengan cetakan CO₂. Untuk pembentukan, menggunakan proses tempa cetakan terbuka (*open dies forging*). Sebagai gambaran yang lebih jelas pada percobaan ini, maka pada Gambar 1 diperlihatkan skema penelitian yang dilakukan.



8 November 2017

2.1 Komposisi Target

Komposisi yang menjadi target adalah baja dengan standard *Stainless Steel 410* yang dapat dilihat pada Tabel 1. Keempat sampel tersebut akan dimodifikasi target komposisi, dimana perubahannya adalah pada unsur Mo, dan unsur Ni.

Tabel 1. Komposisi Kimia Target

Unsur kimia dalam % berat						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0,15	1,00	1,00	0,04	0,03	11,50 -	0,50
max.	max.	max.	max.	max.	13,50	max.

2.2 Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan pengecoran diawali dengan pembuatan pola dari bahan kayu dengan ukuran yang diinginkan, yaitu 50x50x200mm yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang sesuai dengan hasil akhir yang diinginkan setelah pengecoran selesai dilakukan. Kemudian pola kayu tersebut dimasukkan ke dalam pasir yang telah disiapkan sebelumnya (campuran pasir silica \pm 90%, gula tetes 4,5 % dan air kaca (*water glass*) pada rangka cetakan logam (Gambar 3) yang terdiri dari *cup* dan *drag* dan di tekan serta diguncang dengan menggunakan mesin guncang desak.

Kemudian pola kayu tersebut di angkat dan menyisakan rongga pada pasir tersebut dan diberikan saluran masuk untuk menuangkan logam ke dalamnya.



Gambar 2. Pola Kayu



Gambar 3. Cetakan pasir CO₂

2.3 Pengecoran

Pada proses pengecoran yang dilakukan, bahan-bahan yang digunakan adalah skrap baja nirkarat, ditambah dengan FeNi dan FeCr. Setelah dilakukan perhitungan *material balance* (ditimbang berat yang dibutuhkan), bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam tungku induksi yang bermuatan 100 kg. Setelah muatan di dalam tungku induksi mencair mencair, maka diambil cairan sampel untuk dianalisa kimia, agar diketahui komposisi target yang dicapai.

8 November 2017

Bila komposisi tersebut tidak sesuai dengan target, maka akan dilakukan penambahan material yang dibutuhkan pada cairan yang masih berada di dalam tungku induksi tersebut, ditambahkan dengan unsur paduan yang kurang.



Gambar 4. Proses Cor Pada Cetakan



Gambar 5. Pembuangan Sistem saluran



Gambar 6. Benda kerja hasil pengecoran

Setelah muatan melebur dan komposisi yang diinginkan telah sesuai dengan target, maka cairan siap di tuangkan. Cairan dari tungku induksi tersebut dipindahkan ke ladle yang kecil agar mudah dilakukan penuangan ke dalam cetakan pasir CO₂ yang telah disiapkan sebelumnya (ditunjukkan pada Gambar 4). Setelah coran dingin, maka pasir cetak tersebut dihancurkan dan diambil hasil corannya. Sistem saluran yang masih ada pada hasil coran dihilangkan dengan mesin gergaji atau mesin las, dimana hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 5. Pembersihan sisa-sisa pasir yang masih melekat pada hasil coran dengan menggunakan proses *sand blasting*. Hasil dari pengecoran berupa sampel setelah bersih dapat dilihat pada Gambar 6.

2.4 Proses Tempa

Sampel hasil pengecoran tersebut kemudian dipotong melintang menjadi berukuran 50x50x100mm. Selanjutnya dilakukan pembentukan dengan proses tempa cetakan terbuka (*open dies forging*), dimana proses ini disebut tempa panas (*hot forging*) karena suhu pada baja tersebut adalah 1125° C yang berarti bahwa suhu pada proses tersebut dilakukan di atas suhu rekristalisasi. Proses tempa tersebut menggunakan palu berdiameter 150 mm dengan landasan yang berukuran 235x225x75 mm. Jarak terjauh antara palu dengan landasan tempa adalah 340 mm dengan percepatan pukulan 2,39 detik, sehingga mempermudah proses tempa cetakan terbuka tersebut.

8 November 2017

Ukuran sampel akhir yang didapat dari proses tempa panas tersebut adalah 30x30x277,78 mm. Proses pemanasan sampel coran pada tungku diperlihatkan pada Gambar 7, sedangkan proses tempa cetakan terbuka yang dilakukan diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Proses pemanasan Sampel pada tungku.



Gambar 8. Proses tempa panas cetakan terbuka (*open dies forging*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap sampel cor dan tempa antara lain adalah, analisa kimia, kekerasan dengan metoda Rockwell C dan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optic yang akan disampaikan di bawah ini.

3.1 Analisa Kimia

Dari hasil pengujian analisa kimia yang dilakukan terhadap keempat sampel hasil pengecoran tersebut dipaparkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa kimia

Kode Sampel	Unsur kimia dalam % berat							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
CS 1	0,1450	0,3791	0,9930	0,0106	0,0003	13,7000	0,0251	0,3063
CS 2	0,1482	0,3727	0,9581	0,0119	0,0003	13,5000	0,8680	0,3088
CS 3	0,1445	0,3281	0,8880	0,0136	0,0022	13,1400	2,8341	0,2954
CS 4	0,1227	0,2910	0,6002	0,0124	0,0021	13,2300	2,8610	2,9802

Unsur Molibdenum (Mo) yang paling rendah adalah sampel CS 1, kemudian pada pada sampel CS 2 dan CS 3 terjadi peningkatan, sedangkan sampel CS 4 merupakan yang paling tinggi kandungannya. Meskipun sampel CS 3 dan CS 4 kandungan Mo hampir sama, tetapi kandungan Ni pada sampel CS4 lebih tinggi sekitar 2,9802 % berat, dimana Ni merupakan unsur yang dapat meningkatkan kekerasan ⁽⁵⁾. Untuk unsur Kromium (Cr) kandungan yang paling tinggi adalah CS1 dan yang paling rendah adalah CS3, dengan perbandingan sekitar 0,56 % berat.

8 November 2017

3.2 Hasil Uji kekerasan

Pada hasil pengujian kekerasan yang dilakukan dengan metoda Hardness Rockwell C (HRc), dimana sampel hasil proses pengecoran dan hasil proses tempa diuji pada sembilan (9) titik, kemudian dirata-ratakan. Hasil pengujian tersebut dipaparkan pada tabel 3 dan tabel 4. Agar lebih memudahkan, maka hasil uji pada tabel tersebut dibuat grafiknya, yang dipaparkan pada Gambar 9 dan 10. Dari hasil pengujian kekerasan antara hasil pengecoran dan proses tempa, terlihat bahwa rata-rata hasil uji CS 1 hasil coran kekerasannya adalah 46,79 HRc, sedangkan hasil penempaan mencapai 48,27 HRc. Sedangkan terjadi pada material dengan kode CS2 harga kekerasan hasil cor adalah 43,42 HRc sedangkan hasil tempa mencapai 47,12. Untuk sampel CS 3 harga kekerasan hasil cor adalah 39,31 HRc sedangkan hasil tempa mencapai 41,83 HRc. Untuk sampel CS 4 hasil cor kekerasannya adalah 47,23 HRc sedangkan hasil tempa harga kekerasan mencapai 48,61 HRc.

Tabel 3. Data uji keras hasil proses cor.

Kode Sampel	Posisi Uji Hasil Cor, Kekerasan HRc									Rata ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
CS 1	46,5	46,7	47,6	46,7	46,3	47,5	47,0	46,5	46,3	46,79
CS 2	42,8	43,9	43,3	43,9	41,4	43,8	43,9	44,8	43	43,42
CS 3	39,3	38,8	38,9	39,9	39,8	39,3	40,3	39,4	38,1	39,31
CS 4	47,3	47,1	47,7	47,7	47,1	47,2	46,6	47,2	47,2	47,23

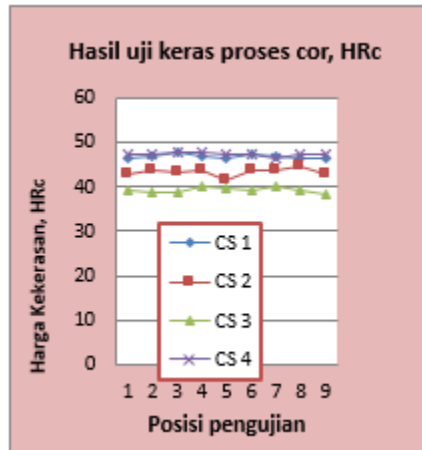
Tabel 4. Data uji keras hasil proses tempa.

Kode Sampel	Posisi Uji Hasil Tempa, Kekerasan HRc									Rata ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
CS 1	47,3	48,8	46,1	48,3	48,8	49,4	47,0	49,5	49,2	48,27
CS 2	46,2	46,3	47,6	48,2	47,3	47,1	47,5	47,1	46,8	47,12
CS 3	41,0	42,2	41,0	42,9	41,5	42,2	41,7	42,5	41,7	41,83
CS 4	46,1	47,7	50,1	49,6	48,5	47,8	49,2	50,0	48,5	48,61

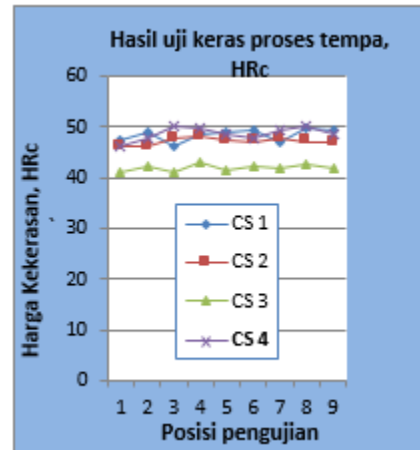
Terjadinya peningkatan harga kekerasan hasil proses tempa panas cetakan terbuka dibandingkan dengan hasil cor. Karena adanya peningkatan pepadatan dan penghalusan butir pada sampel yang telah mengalami proses tempa tersebut, dimana hasil proses cor tingkat kepadatannya lebih rendah dibandingkan dengan hasil proses tempa. Selain hal tersebut, karena suhu yang digunakan adalah 1125° C pada proses penempaan sehingga mempunyai butir yang lebih halus. Pada uji kekerasan hasil pengecoran dan tempa, terlihat bahwa harga kekerasan yang paling tinggi adalah CS4, yaitu sekitar 47,23 HRc dan 48,61 HRc. Meskipun pada CS 1 kandungan Cr nya yang tertinggi, tetapi harga kekerasan CS 4 lebih tinggi.

8 November 2017

Hal ini disebabkan karena Ni dalam kandungan CS4 dibandingkan dengan CS 1 adalah 2,6739 sekitar % berat. Sedangkan perbandingan unsur Cr yang paling tinggi (CS1) dan rendah (CS3) adalah 0,56% berat, sedangkan CS1 bila dibandingkan dengan CS4 adalah sekitar 0,47 % berat.



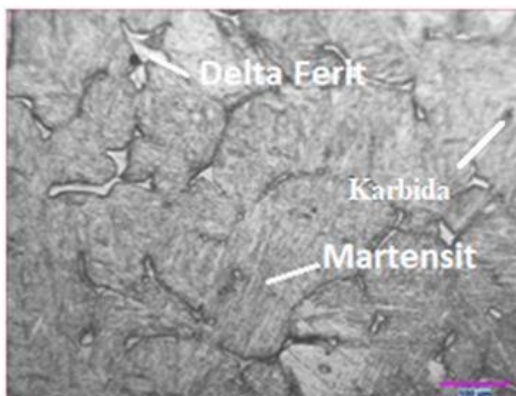
Gambar 9. Hasil uji keras hasil cor.



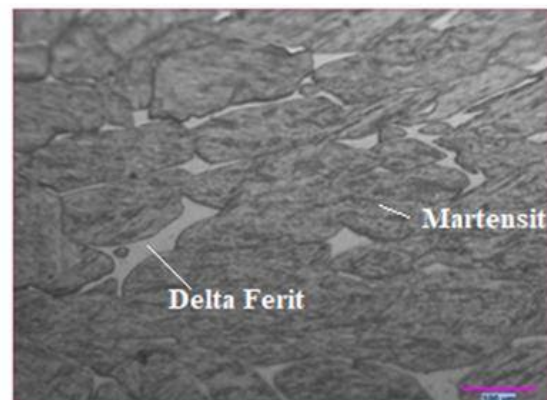
Gambar 10. Hasil uji keras hasil tempa.

3.3 Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro yang terlihat, dimana adanya perbedaan bentuk fasa yang ada di setiap sampel antara lain yang di perlihatkan mulai dari Gambar 11 hingga Gambar 18. Dimana terlihat pada gambar tersebut bahwa fasa yang ada, adalah delta ferit, karbida dan martensit.

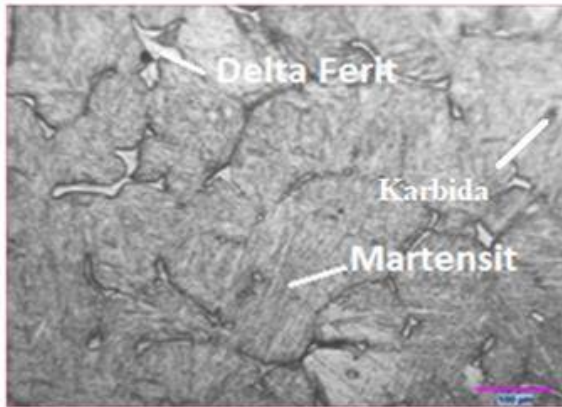


Gambar 11. Struktur mikro hasil cor komposisi CS 1

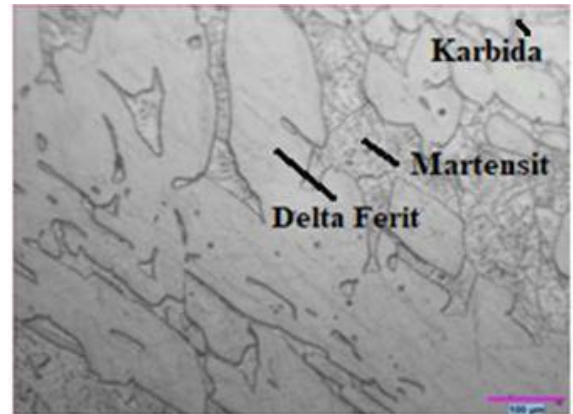


Gambar 12. Struktur mikro hasil cor komposisi CS 2.

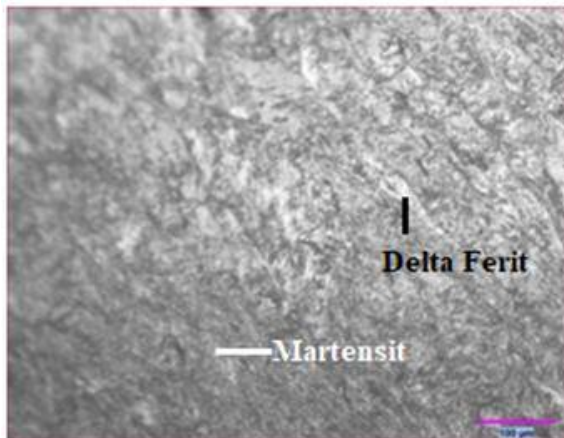
8 November 2017



Gambar 13. Struktur mikro hasil cor komposisi CS3.



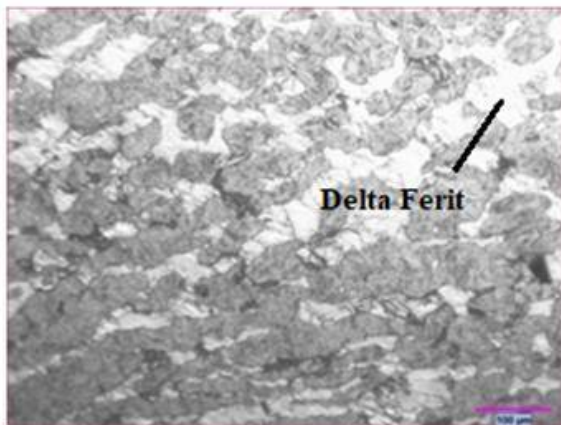
Gambar 14. Struktur mikro hasil cor komposisi CS4



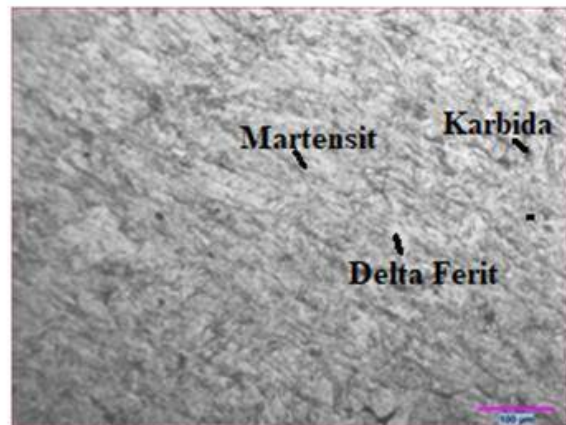
Gambar 15. Struktur mikro hasil tempa komposisi CS1.



Gambar 16. Struktur mikro hasil tempa komposisi CS2.



Gambar 17. Struktur mikro hasil tempa



Gambar 18. Struktur mikro hasil tempa

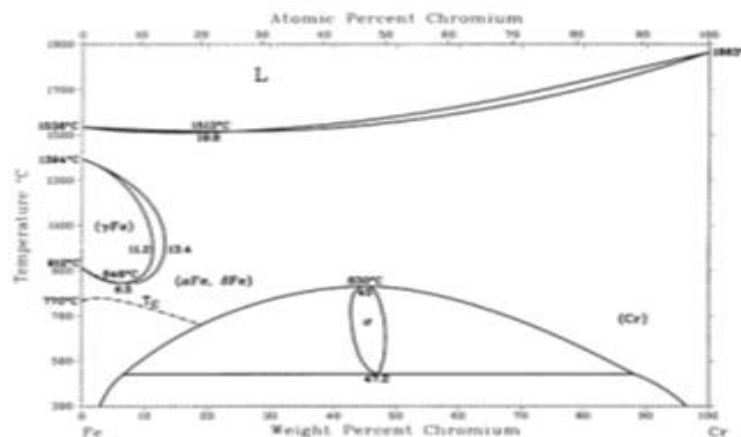
8 November 2017

3.3 Hubungan Antara Kekerasan Dengan Struktur Mikro dan Hasil Tempa

Dari keempat komposisi, terlihat bahwa CS1 mengandung unsur Krom yang paling tinggi dibandingkan komposisi yang lainnya, yaitu 13,7%. Pada proses pembentukan cetakan terbuka dengan suhu awal 1125° C (Gambar 19) kondisi tersebut masuk daerah α FeCr kemudian terjadi penurunan suhu karena benda kerja dikeluarkan dari tungku dan di pukul oleh palu tempa. Hal ini mengakibatkan adanya perpindahan panas pada permukaan benda kerja ke permukaan palu dan landasan. Karena hal tersebut, dapat menyebabkan penghalusan butir pada logam yang ditempa sehingga nilai kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan hasil coran. Selain itu, hasil proses pengecoran masih mempunyai rongga-rongga, sedangkan setelah proses tempa dilakukan, rongga pada hasil cor tersebut dapat dikurangi, sehingga hasil proses tempa materialnya lebih padat, yang menyebabkan tingkat kekerasan pada hasil tempa akan lebih tinggi dibanding cor.

3.4 Hubungan Antara Unsur Kimia dengan Struktur Mikro

Semua baja tahan karat mengandung unsur krom (Cr), yang berfungsi sebagai unsur penstabil ferit. Pada diagram kesetimbangan Fe-Cr (Gambar 19.) terlihat bahwa kandungan krom jika di atas 12%, memperlihatkan adanya ferit yang dapat langsung mengendap dari fasa cair membentuk delta-ferit. Semakin tinggi Cr yang dikandung, maka daerah austenit yang terbentuk akan semakin menyempit, sehingga daerah ferit akan menjadi lebih luas. Kandungan krom di atas 10,5% akan membentuk lapisan pasif krom (Cr_2O_3), dimana lapisan ini dapat mengikat oksigen, sehingga dapat meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan oksidasi pada suhu yang tinggi. Unsur Krom juga merupakan unsur pembentuk karbida yang dapat berikatan dengan besi (Fe), karbon (C) dan dengan unsur-unsur lainnya.



Gambar 19. Diagram kesetimbangan Fe-Cr ⁽³⁾.

8 November 2017

Karena tingkat kandungan unsur utama (Cr dan C) yang tinggi, maka struktur mikro yang terbentuk adalah martensit yang didapatkan dari terjadinya proses pemanasan awal pada waktu akan dilakukan proses tempa. Sehingga yang terjadi adalah Ferit delta dan karbida krom di dalam matrik martensit⁽⁴⁾. Krom tersebut dapat menjadi karbida krom (CrC) saat dikeraskan. Penambahan unsur Cr akan menghalangi proses oksidasi, tetapi yang didapat bukannya karbida besi, tetapi karbida krom, dimana harga kekerasannya lebih tinggi dibandingkan karbida besi. Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi. Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan karena unsur nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja⁽⁵⁾.

4. KESIMPULAN

Suhu proses tempa cetakan terbuka (*open dies casting*) adalah di atas temperatur rekristalisasi, yaitu 1125° C. Pengaruh hasil tempa terhadap kepadatan material mengakibatkan nilai kekerasan dari hasil proses penempaan lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil proses pengecoran. Struktur mikro yang terjadi, adalah ferit delta dan karbida di dalam matrik martensit.

DAFTAR PUSTAKA

8 November 2017

1. Mabruri E, Anwar, MS., Siska P., Romijarso, T.B., Adjiantoro B., “*Pengaruh Mo dan Ni Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr*”, (Majalah Metalurgi vol 3, 2015), pp. 133-140.
2. Hull, F.C.,” *Delta Ferrite and Martensite Formation in Steels.*” (Welding Research, supplement in welding journal, May 1973).
3. ASM Handbook, Volume 9, *Metallography and Microstructures.* (ASM International, Printed USA, 2004).
4. E.F. Boulton, G.A. Scholfield, editor, “*Typical Microstructures of Cast Metals*”, (The Institute of British Foundrymen, Birmingham B5 7JP, 1981), pp. 206.
5. Sidney H Avner, “*Introduction to Physical Metallurgy*”, Second Edition, (Mc Graw Hill Inc, 1974).
6. Donald S.Clark, PhD & Wilburr. Varnew,M.S. “*Physical Metallurgy for Engineerings*” (Second Edition by Litton Educational Publishing, Inc. 1962).
7. R.M. Brick/ A.W. Pense/ R.B.Gordon “*Structure and Properties of Engineering Materials*” (Fourth Edition by Mc Graw hill, Inc. 1977).
8. Van Vlack.L.H. “*Elements of Material Science and Engineering*”. (Published by person education inc. publishing as prentice hall 6th edition ISBN 0201093146, 1989).
9. E.R.Petty,Bcc. Ph.D. AJM “*Physical Metallurgy Of Engineering Materials*” (George Allen and Unwin Ltd).
10. Dieter “*Mechanical Metalurgi*” (Mc Graw Hill Second Edition, 1976).

8 November 2017

Efek Modifikasi Cetakan Terhadap Pembuatan Batang Piston Dinding Tipis

Rianti Dewi Sulamet-Ariobimo^{1, a)}, Muhammad Fadlan¹, Tono Sukarnoto¹, Yoska Oktaviano¹, & Yusep Mujalis¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.

^{a)}riantiaribimo@trisakti.ac.id dan rianti.ariobimo@gmail.com

Abstract.

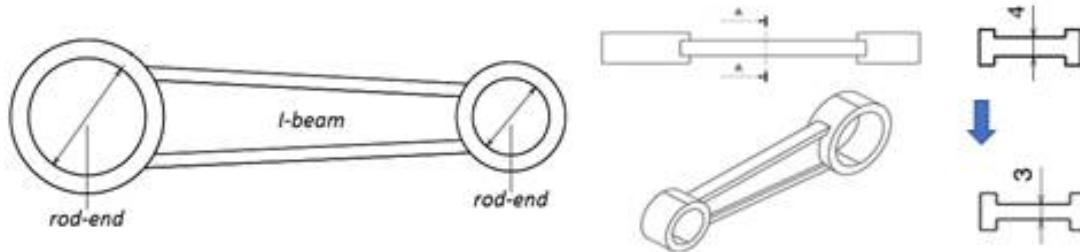
Sebuah desain pengecoran plat dinding tipis untuk komponen batang piston yang lebih ringan telah berhasil dibuat. Desain tersebut dibuat berdasarkan desain pengecoran plat dinding tipis besi tuang nodular (TWDI) dengan paten nomor IDP000039503. Proses pengecoran yang dibuat berdasarkan desain tersebut telah menghasilkan sebuah batang piston dinding tipis dengan berat yang lebih ringan sebesar 36 gram. Dalam proses pengecoran tersebut dilakukan beberapa variasi pada cetakan yang digunakan. Variasi dilakukan dengan menggunakan cawan tuang tambahan dan perlakuan yang berbeda pada pelapis cetakan. Pengamatan struktur mikro dan pengujian tarik akan dilakukan terhadap batang piston yang dihasilkan. Uji tarik akan dilakukan dalam bentuk komponen batang piston, bukan dalam bentuk benda uji tarik. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara daerah yang ditipiskan (*I-beam*) dengan daerah normal (*rod-end*). Sedangkan hasil uji Tarik menunjukkan semua nilai tarik yang diperoleh tidak memenuhi standar minimal untuk FCD450. Hal ini disebabkan karena saat uji tarik digunakan pemegang tambahan yang dapat menimbulkan momen.

1. PENDAHULUAN

Proses penipisan sebanyak 1 mm yang dilakukan terhadap bagian *I-beam* dari sebuah komponen batang piston yang terbuat dari besi tuang nodular seperti terlihat pada Gambar 1 menunjukkan penurunan berat sebesar 36 gram [1]. Hal ini membuktikan bahwa penerapan teknologi pengecoran dinding tipis (*thin wall casting - TWC*) akan membantu besi tuang nodular (DI) dan besi tuang austemper (ADI) untuk bersaing dengan aluminium dan digunakan kembali sebagai bahan komponen otomotif. Pengembangan desain yang dilakukan oleh Soedarsono dkk [2-9] telah menghasilkan desain pembuatan pelat dinding tipis besi tuang nodular (*thin wall ductile iron - TWDI*).

8 November 2017

Salah satu desain Soedasono dkk dengan paten nomor IDP000039503 digunakan untuk membuat desain pengecoran batang piston dinding tipis [10].



GAMBAR 1. Batang piston dinding tipis [1,10]

Desain pengecoran batang piston dinding tipis [10] yang dibuat mempunyai perbedaan dengan desain Martinez [11]. Martinez membuat desain batang piston berongga (hollow connecting rod) sedangkan desain yang dibuat oleh Sulamet-Ariobimo dkk [10] tidak berongga. Pemilihan ini dilakukan untuk menyederhanakan desain dan menghindari penggunaan inti sehingga mengurangi tingkat kesulitan proses pengecoran.

Setelah dilakukan proses pengecoran dengan menggunakan desain yang dibuat [10] ditemukan beberapa cacat yang harus diperbaiki. Perbaikan yang dilakukan menghasilkan komponen batang piston dinding tipis yang lebih baik [1]. Modifikasi dilakukan pada cetakan pada saat dilakukan proses pengecoran menggunakan pola yang baru. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh modifikasi cetakan terhadap kualitas komponen batang piston dinding tipis besi tuang nodular. Modifikasi pada cetakan dilakukan dengan penggunaan cawan tuang tambahan dan pembakaran pelapis (*coating*) menggunakan alat pembakar (*burner*).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dalam skala industri ini dimulai dengan melakukan proses pengecoran menggunakan desain yang dipilih berdasarkan efisiensi pengecoran (*casting yield*) [1,10]. Desain yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengecoran dilakukan pada beberapa cetakan yang dimodifikasi kondisinya. Adapun penamaan dan kondisi cetakan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Pelapis yang digunakan adalah grafit. Proses pelapisan dilakukan dengan metode pengecatan. Pelapisan akan dilakukan pada Cetakan A, Cetakan B dan Cetakan D.

8 November 2017

Setelah proses pelapisan selesai maka cetakan akan dibakar dengan cara menyalakan lapisan grafit tadi menggunakan korek api. Lapisan grafit tersebut akan terbakar karena adanya alkohol. Api pada cetakan akan padam dengan sendirinya ketika alkohol dalam lapisan habis. Pada Cetakan D pembakaran dilakukan menggunakan alat pembakar untuk waktu tertentu sebelum akhirnya dibiarkan padam.

Logam cair yang digunakan dalam proses pengecoran adalah logam cair untuk kelas FCD 450 dengan komposisi kimia seperti terlihat pada Tabel 2. Proses *pouring* dimulai pada 1395°C. Total waktu tuang adalah 5 detik. Susunan penuangan dapat dilihat pada Gambar 3.



GAMBAR 2. Desain pengecoran batang piston dinding tipis [10]



GAMBAR 3. Susunan cetakan saat penuangan.

TABLE 1. Penamaan Cetakan

Nama	Kondisi
A	Menggunakan cawan tuang tambahan dan pelapis kondisi normal
B	Tidak menggunakan cawan tuang tambahan dan pelapis kondisi normal
C	Tidak menggunakan cawan tuang tambahan maupun pelapis
D	Menggunakan cawan tuang tambahan dan pelapis dibakar menggunakan alat pembakar (<i>burner</i>)



GAMBAR 4. Hasil pembongkaran cetakan.



GAMBAR 5. Komponen batang piston dinding tipis.

8 November 2017



GAMBAR 6. Benda uji pengamatan mikro.



GAMBAR 7. Jig pemegang benda uji.

Setelah proses pengecoran akan dilakukan proses pembongkaran cetakan dan proses permesinan untuk membersihkan dan memisahkan komponen dari sistim saluran tuangnya. Hasil pembongkaran cetakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Sedangkan komponen batang piston dinding tipis terlihat pada Gambar 5. Setelah diperoleh batang piston dinding tipis maka proses selanjutnya adalah melakukan pengamatan struktur mikro dan pengujian tarik. Proses pengamatan strukturmikro dilakukan pada 2 daerah, yaitu daerah yang ditipiskan (*I-beam*) dan daerah yang ketebalan normal (*rod-end*) seperti terlihat pada Gambar 6. Perhitungan jumlah nodul menggunakan aplikasi tak berbayar ImageJ Fiji. Pengujian tarik akan dilakukan pada batang piston yang berada pada posisi 2 seperti terlihat pada Gambar 2. Pengujian tarik akan dilakukan dalam bentuk komponen sehingga digunakan pemegang (*jig*) khusus seperti terlihat pada Gambar 7.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan cawan tuang tambahan di luar sistem saluran tuang akan menambahkan perbedaan ketinggian sehingga tekanan hidrostatik pada logam cair akan bertambah. Sedangkan penggunaan lapisan (*coating*) pada cetakan bertujuan agar pasir tidak terkikis saat proses pengisian logam cair dan terjadi peningkatan kualitas profil kekasaran permukaan. Proses pembakaran lapisan dilakukan dengan tujuan untuk menyatukan antara pelapis dengan pasir cetak sekaligus untuk mencegah masuknya pasir cetak ke dalam logam cair.

8 November 2017

Tabel 2. Komposisi kimia logam cair

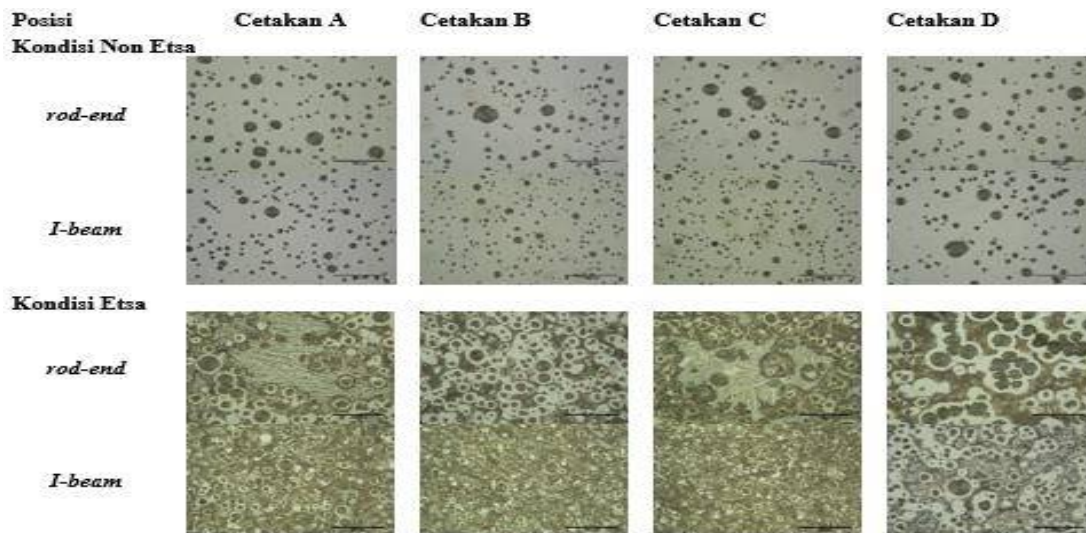
Unsur	Standar ASTM	Hasil Pengujian
Karbon (C)	3,60 – 3,80 %	3,67 %
Silikon (Si)	1,80 – 2,80 %	2,78 %
Mangan (Mn)	0,15 – 1,00 %	0,35 %
Magnesium (Mg)	0,03 – 0,06 %	0,04 %
Fosfor (P)	< 0,30 %	0,01 %
Sulfur (S)	< 0,02 %	0,01 %
Tembaga (Cu)	0,015 – 1,00 %	0,22 %
Krom (Cr)	0,03 – 0,07 %	0,06 %
Nikel (Ni)	0,05 – 2,00 %	0,04 %
Molybdenum (Mo)	0,01 – 0,10 %	0,01 %
Nilai CE-1	%C + 0,31%Si	4,53 %
Nilai CE-2	%C + 0,31%Si + 0,55%P - 0,027%Mn + 0,4%S	4,53 %

Komposisi kimia logam cair yang digunakan tidak menunjukkan adanya penyimpangan dari standar ASTM. Nilai CE yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 4,53%. Merujuk pada Martinez [11] maka CE yang dihasilkan masuk dalam standar untuk membuat TWDI, yaitu 4,4 sampai 4,6. Demikian juga jika merujuk kepada Stefanescu [12]. Melihat hasil perhitungan nilai CE maka matriks yang dimiliki oleh besi tuang nodular ini tidak 100% ferit karena nilai CE yang dimilikinya dibawah 4,667 seperti disampaikan oleh Soedarsono [5] dan Sulamet-Ariobimo [8].

Hasil pengamatan struktur mikro dalam kondisi tidak dietsa seperti terlihat pada Gambar 8 menunjukkan bahwa grafit yang terbentuk pada bagian normal (*rod-end*) mempunyai diameter yang lebih besar jika dibandingkan dengan bagian yang ditipiskan (*I-beam*). Nodularitas grafit pada daerah *rod-end* cenderung lebih rendah dari daerah *I-beam*. Penyebaran grafit yang lebih merata terlihat pada daerah *I-beam*. Perbedaan ini terjadi karena kecepatan solidifikasi pada *I-beam* lebih cepat dibandingkan *rod-end*. Kecepatan pendinginan yang terjadi pada *I-beam* mengikuti prinsip proses solidifikasi pengecoran dinding tipis sedangkan bagian *rod-end* mengikuti prinsip solidifikasi pada pengecoran besi tuang nodular. Grafit primer terbentuk pada *I-beam* maupun *rod-end*. Ketika analisa dilakukan terhadap modifikasi yang dibuat pada cetakan maka terlihat adanya kemiripan struktur mikro yang terbentuk antara *rod-end* dengan *I-beam* pada masing-masing cetakan. Perbedaan yang signifikan terlihat pada ukuran diameter grafit. Diameter grafit pada bagian *I-beam* cenderung lebih kecil karena proses pembentukannya mengikuti proses solidifikasi pengecoran dinding tipis. Struktur mikro Cetakan A dan Cetakan D cenderung menunjukkan kesamaan karena keduanya menggunakan cawan tuang tambahan. Kesamaan terlihat pada pola penyebaran, jumlah nodul, diameter dan nodularitas.

8 November 2017

Pembeda utama dari keduanya adalah diameter grafit pada bagian *I-beam* dan *rod-end* pada Cetakan D cenderung lebih homogen dibandingkan Cetakan A. Penggunaan cawan tuang tambahan pada Cetakan A dan D ini menyebabkan terjadinya peningkatan tekanan hidrostatik. Peningkatan tekanan hidrostatik ini akan mempercepat proses pengisian sehingga waktu tuang menjadi lebih pendek. Dengan semakin pendeknya waktu tuang maka kemungkinan terjadinya kegagalan proses liquid treatment karena fading berkurang. Tetapi ketika dibandingkan terlihat bahwa distribusi dan jumlah nodul terlihat lebih rata dan banyak pada Cetakan B dan C. Penggunaan burner pada Cetakan D lebih mempengaruhi struktur mikro yang terbentuk pada *I-beam*. Grafit pada bagian yang ini mempunyai ukuran diameter yang hampir sama dengan end-rod. Ukuran diameter grafitnya pun terlihat lebih besar daripada ukuran diameter grafit pada daerah yang sama di cetakan lainnya. Hal ini disebabkan karena kecepatan solidifikasi yang tidak terlalu tinggi sebagai akibat perbedaan temperature yang tidak besar. Pada ketiga cetakan lainnya (A, B dan C) perbedaan ukuran diameter grafit antara bagian *rod-end* dengan *I-beam* terlihat cukup signifikan. Cetakan B dan C memperlihatkan kesamaan karakteristik grafit tetapi Cetakan C terlihat lebih homogen dalam penyebaran dan ukuran grafit



GAMBAR 8. Hasil pengamatan struktur mikro batang piston pada bagian normal dan bagian yang ditipiskan.

Hasil pengamatan metalografi terhadap kondisi etsa menunjukkan bahwa matriks yang terbentuk untuk daerah *I-beam* sama dengan *rod-end* yaitu matriks perlitik. Pada bagian *rod-end* terlihat dominasi karbida khususnya untuk Cetakan A dan C.

8 November 2017

Sedangkan pada bagian *I-beam* matriks yang terbentuk adalah perlitik penuh untuk Cetakan A, B dan C dan ferit-perlit untuk Cetakan D. Karbida ditemukan juga dalam matriks tapi tidak sedominan pada *rod-end*. Terbentuknya karbida dalam matriks adalah sebagai akibat gagalnya proses inokulasi. Proses pemanasan menggunakan *burner* menyebabkan terbentuknya matriks yang berbeda. Kecepatan pendinginan pada Cetakan D menjadi lebih lambat dibandingkan cetakan lainnya karena perbedaan temperature yang tidak besar. Pembentukan matriks perlitik ini sejalan dengan nilai CE yang tidak mencapai 4,667.



GAMBAR 9. Jumlah Nodul

GAMBAR 10. Hasil Pengujian Tarik



GAMBAR 11. Komponen setelah proses penarikan.

Hasil Analisa kuantitatif terhadap jumlah nodul yang dihasilkan menunjukkan bahwa jumlah nodul paling banyak untuk bagian *I-beam* terdapat pada Cetakan C, sebesar 1462 nodul/mm². Sedangkan paling sedikit pada Cetakan D dengan 867 nodul/mm². Sedangkan untuk *rod-end* jumlah nodul terbanyak ditemukan pada Cetakan B, yaitu 876 nodul/mm² dan paling sedikit pada Cetakan D sebesar 800 nodul/mm². Perbedaan jumlah nodul yang tidak besar (8%) antara *I-beam* dengan *rod-end* pada Cetakan D adalah sebagai akibat dari perbedaan temperatur yang tidak besar sebagai akibat pemanasan dengan menggunakan *burner*.

Hasil uji Tarik menunjukkan kekuatan tarik maksimum (UTS atau Rm) masih berada dibawah batas minimal dari FCD450. Hal ini disebabkan karena benda uji tarik yang digunakan adalah komponen sehingga dipergunakan alat bantu.

8 November 2017

Penggunaan alat bantu ini dicurigai menyebabkan timbulnya momen sehingga perhitungan kekuatan tarik biasa kurang akurat. Semua komponen yang mengalami pengujian tarik putus pada posisi *rod-end* seperti terlihat pada Gambar 11 Hal ini menunjukkan bahwa proses penipisan tidak mengganggu kerja gaya dalam komponennya. Jika dianalisa hasil pengujian tarik seperti disampaikan pada Gambar 10 maka grafik tersebut sesuai dengan jumlah nodul rata-rata. Cetakan C dengan jumlah nodul rata-rata terbanyak mendapatkan kekuatan tarik tertinggi, yaitu 310 N/mm^2 . Sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh Cetakan D yang mempunyai jumlah nodul rata-rata paling rendah. Jumlah nodul yang tinggi berkaitan dengan peningkatan kekuatan tarik, keuletan (*ductility*) dan mampu permesinan (*machinability*). Perbedaan antara kekuatan tarik tertinggi dengan terendah signifikan, yaitu 52%. Demikian juga untuk perbedaan antara Cetakan A dengan D, yaitu 28%. Tetapi tidak demikian halnya untuk Cetakan B dengan C yang hanya berbeda 1,3%. Ini menunjukkan perbedaan temperatur cetakan lebih dominan pengaruhnya dibandingkan dengan penggunaan pelapis cetakan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukan bahwa modifikasi yang dilakukan pada proses pengecoran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik grafit nodular, matriks yang terbentuk dan kekuatan tarik dari komponen yang dihasilkannya. Penggunaan cawan tuang tambahan menyebabkan menyebabkan ukuran diameter grafit menjadi lebih besar pada semua daerah. Sedangkan untuk pelapisan cetakan (*coating*) hasil penelitian menunjukan bahwa cetakan tanpa menggunakan *coating* mempunyai grafit nodul dengan karakteristik yang lebih baik walaupun tidak signifikan. Pengaruh paling signifikan diberikan oleh proses pembakaran lapisan cetakan yang diikuti dengan proses pemanasan. Proses pemanasan ini menyebabkan terbentuknya matriks yang berbeda dengan cetakan lainnya khususnya pada daerah yang ditipiskan. Nilai kekuatan tarik yang belum memenuhi persyaratan minimal terjadi karena proses pengujian tarik tersebut dilakukan langsung dalam komponen sehingga dibutuhkan alat bantu untuk memasang komponen tersebut pada uji tarik. Penggunaan alat bantu ini diduga menimbulkan momen yang tidak pernah diperhitungkan dalam perhitungan kekuatan tarik.

8 November 2017

REFERENSI

- R.D. Sulamet-Ariobimo, G. Yudha, T. Sukarnoto, Y. Mujalis dan Y. Oktaviano: *in press* (2017).
- J.W. Soedarsono dan R.D Sulamet-Ariobimo: AMM, 415-417(2012), hal. 831.
- B. Suharno, J.W. Soedarsono, T.P. Soemardi, dan R.D. Sulamet-Ariobimo: AMR, 277(2011), hal. 66.
- J.W. Soedarsono dan R.D Sulamet-Ariobimo: AMM, 415-417(2012), hal. 831.
- J.W. Soedarsono, B. Suharno dan R.D. Sulamet-Ariobimo: AMR, 415-417(2012), hal. 831.
- J.W. Soedarsono, B. Suharno dan R.D. Sulamet-Ariobimo: AMM, 152-154(2012), hal. 1607
- R.D. Sulamet-Ariobimo, J.W. Soedarsono dan B. Suharno: AMR, 652-654(2013), hal. 2404.
- R.D. Sulamet-Ariobimo, J.W. Soedarsono dan B. Suharno: AMR, 702(2013), hal. 269.
- R.D. Sulamet-Ariobimo, J.W. Soedarsono dan B. Suharno: AMM, 752-753(2015), hal. 845.
- R.D. Sulamet-Ariobimo, G. Yudha, Y. Oktaviano, Y. Mujalis dan T. Sukarnoto dalam Prosiding SENAMM IX, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2016.
- R.A. Martinez, R.E. Boeri dan J.A. Sikora in: Proceeding of 2002 world conference on ADI, AFS, 2002.
- D.M. Stefanescu, L.P. Dix, R.E. Ruxanda, C. Corbitt-Coburn dan T.S. Piwonka: AFS Trans, Vol. 110 (2002), hal. 1149.

8 November 2017

Efek Kirkendall Pada Kopel Difusi Gelas Metalik Dan Logam Kristal

Daisman P.B. Aji^{1, a)}, & Ersan P. Muslih^{1, 2, b)}¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Trisakti, Jl. Kyai Tapa 1, Grogol, Jakarta 11440.²Nano Center Indonesia, Kawasan Puspitek, Gedung 410 – Ruang B07, Serpong, Tangerang Selatan 15313.a) daisman.aji@trisakti.ac.id b) ersan@nano.or.id

Abstract.

Diffusion in metallic glasses differs from that in crystals. To investigate the atomic diffusion across a junction interface with Sn and Zn metals, diffusion couples of the $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ bulk metallic glass with the two crystalline metals were made and the concentration of Sn and of Zn into the metallic glass was studied by Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) after annealing the samples in a vacuum furnace for different time intervals at several temperatures in the glassy state for the metallic glass. A device for the purpose was constructed. Thus the occurrence of Kirkendall effect was demonstrated for bulk metallic glasses. It is suggested that the effect may be useful for diffusion bonding of metallic glasses with other crystalline metals.

1. PENDAHULUAN

Difusi pada metalik gelas dan lelehan ultraviskos menentukan perilaku relaksasi struktural (*structural relaxation*) dan kinetika kristalisasinya. Penelitian tentang difusi telah dilakukan secara ekstensif sejak ditemukannya gelas metalik bulk multikomponen oleh Inoue et al [1] dan Peker dan Johnson [2] pada gelas metalik bulk dan lelehan ultraviskos [3-7]. Difusi juga menentukan *phase separation* dan kristalisasi pada temperatur tinggi [8-10]. Semua sifat ini digunakan untuk menentukan *thermal stability*, yang krusial pada proses produksi and aplikasinya.

Pengukuran difusi pada gelas metalik telah dilakukan dengan metode *radiotracer*. Teknik ini memerlukan proses *mechanical sectioning* sampel, seperti yang telah dilakukan oleh Schuehmacher dan Guraldenq [11] dan *sputter sectioning*, yang digunakan oleh Gupta et al [12]. Metode lain yang digunakan untuk pengukuran difusi pada gelas metalik adalah :

8 November 2017

(i) *Secondary Ion Mass Spectrometry* (SIMS), di mana Tyagi et al [13] menggunakannya untuk mempelajari *self-diffusion* pada paduan Ni dengan menggunakan isotop ^{63}Ni sebagai *tracer*, (ii) *Auger Electron Spectroscopy* (AES), yang digunakan dengan mengkombinasikan dengan *sputter profiling* oleh Stelter and Lazarus [14] untuk mengukur difusi Au dan Ag pada Cu-Zr amorf, (iii) *Rutherford Backscattering Spectrometry*, yang digunakan oleh Chen [15] untuk mempelajari difusi Au pada gelas metalik Pd-Cu-Si, dan (iv) *Small-Angle X-ray Scattering*, yang digunakan oleh Rosenblum et al [16] dan Greer et al [17].

Mekanisme difusi pada gelas metalik belum diketahui. Dua mekanisme difusi pada gelas metalik yang utama telah diberikan. Pertama, *kink* pada plot Arrhenius dari koefisien difusi pada temperatur transisi gelas (*glass transition temperature*) dijelaskan karena adanya transisi mekanisme dari lompatan atom tunggal pada kondisi gelas menjadi aliran viskos (*viscous flow*) pada kondisi ultraviskos [18,19]. Kedua, difusi baik pada kondisi gelas maupun ultraviskos adalah karena proses lompatan atom secara kolektif [5,20-22].

Difusi atom substitusi pada kristal padat dikarenakan oleh mekanisme perpindahan *vacancy* dari satu tempat ke tempat lain pada kisi kristal. Fenomena ini ditunjukkan oleh Smigelskas dan Kirkendall [23], dan penemuan mereka ini dikenal sebagai *Kirkendall effect*. Pada eksperimennya, *inert marker* diletakkan pada batas permukaan antara paduan dan logam murni yang membentuk kopel difusi (*diffusion couple*). Selama anil pada temperatur di mana difusi terjadi, *marker* bergerak ke arah bagian paduan. Sebagai contoh, molybdenum digunakan sebagai *marker* antara tembaga dan kuningan, atom-atom molybdenum ternyata bergerak ke arah kuningan. Fenomena ini dijelaskan dengan mengasumsikan atom Zn berdifusi lebih cepat daripada atom Cu sehingga berdifusi dari kuningan sesuai gradien konsentrasinya. Proses ini tidak mungkin terjadi jika difusi terjadi dengan pertukaran langsung antar atom atau mekanisme cincin [24,25].

Studi difusi pada gelas metalik telah dilakukan hanya untuk satu atom interstitial atau substitusi pada struktur gelas oleh Rosenblum et al [16] dan Greer et al [17]. Pada eksperimen mereka, digunakan spesimen banyak lapisan yang komposisinya termodulasi. Mereka mengukur pengurangan intensitas dengan menganalisis puncak *small-angle x-ray* yang berkorespondensi dengan perpisahan antar lapisan sehingga koefisien interdifusi yang berhubungan dengan difusi pada material inhomogen secara kimia dapat ditentukan.

8 November 2017

Difusi pada batas permukaan antara fase kristal dan fase amorf pada gelas metalik bulk, yang dapat menyebabkan terjadinya *diffusion bonding* antara dua bagian sampel, adalah hal yang penting dalam rekayasa desain untuk material gelas. Namun, penelitian-penelitian tersebut belumlah dilakukan. Makalah ini melaporkan hasil investigasi tentang mekanisme difusi pada batas permukaan dua bagian logam kristal dan amorf. Batas permukaan ini terbentuk antara gelas $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan logam kristal.

2. MATERIAL DAN METODE

Kopel difusi, yang terdiri atas gelas metalik dan logam kristal, dianil secara isothermal selama waktu tertentu. Setelah interval waktu tertentu, observasi struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Komposisi zona difusi ditentukan dengan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX).

Gelas $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ digunakan untuk membentuk kopel difusi dengan kristal Sn. Kopel yang lain dibuat dengan kristal Zn sehingga ada dua kopel dalam penelitian ini. Pada tahap penyiapan sampel, dua bagian kopel dari sampel dipotong dari spesimen *as-cast*. Permukaan batas dua bagian kopling dihaluskan dengan mesin amplas dan poles. Proses anil dilakukan di dalam tungku vakum. Setelah anil, permukaan kopel difusi sepanjang batas permukaan dua bagian kopel diampas dan dipoles, kemudian dilihat struktur mikronya dengan menggunakan mikroskop optik dan Philips SEM 515. Profil unsur kimia ditentukan dengan EDX yang terintegrasi dengan SEM. Kondisi eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Kondisi eksperimen *Kirkendall effect* pada kopel difusi.

Kondisi	Bagian 1	Bagian 2	T_a (K)	t (h)
1	$Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ glass	Kristal Sn	490	48
2	$Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ glass	Kristal Zn	600	48

Untuk menjamin reliabilitas peralatan yang digunakan untuk proses anil pada kopel difusi, satu kopel difusi dibuat dari kristal Sn murni (99.99 %) dan kristal Cu murni (99.9 %) untuk eksperimen awal. Setengah bagian kopel Cu dan Sn berukuran $4 \times 4 \times 2 \text{ mm}^3$. Setelah permukaan dua bagian tersebut dipoles menggunakan suspensi intan 0,1 micron, dua bagian kopel tersebut ditempelkan dan ditekan menggunakan dua pelat yang dibaut. Konfigurasi ini dapat dilihat pada gambar inset pada Gambar 1.

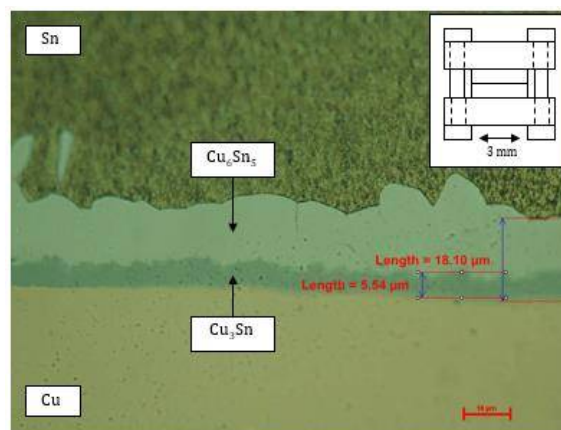
8 November 2017

Sampel kopel diletakkan dalam tabung pyrex dan dianil dalam tungku pada temperatur 490 K selama 48 h dengan kondisi vakum (10^{-5} Pa). Setelah proses anil, kopel difusi dipoles menggunakan suspensi intan 0,1 mikron.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

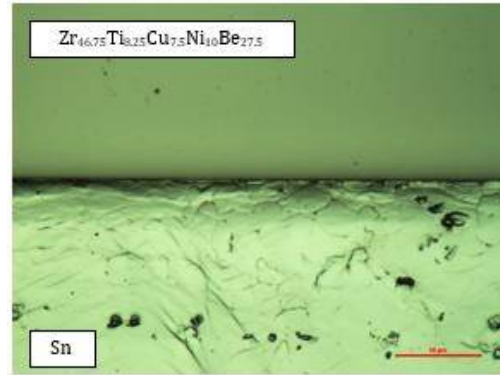
Mikrograf optik sampel yang dianil dapat dilihat pada Gambar 1. Terlihat jelas bahwa difusi telah terjadi sepanjang batas permukaan Cu-Sn. Senyawa intermetalik Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn terbentuk sebagai hasil dari difusi. Komposisi kimia senyawa ini ditentukan dengan menggunakan pengukuran konsentrasi unsur kimia oleh EDX. Dengan eksperimen awal pada kopel Cu-Sn ini, maka peralatan yang digunakan pada penelitian ini untuk proses anil kopel difusi reliabel.

Gambar 2 menunjukkan mikrograf optik kopel difusi yang tersusun atas gelas $\text{Zr}_{46,75}\text{Ti}_{8,25}\text{Cu}_{7,5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27,5}$ dan kristal Sn setelah proses anil pada temperatur 490 K selama 48 h. Gambar 3 menunjukkan mikrograf optik kopel difusi yang tersusun atas gelas $\text{Zr}_{46,75}\text{Ti}_{8,25}\text{Cu}_{7,5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27,5}$ dan kristal Zn setelah proses anil pada temperatur 600 K selama 48 h. Untuk dua kopel difusi ini, batas permukaan antara gelas dan kristal dapat dilihat dengan jelas meskipun zona difusi tidak terlihat dengan jelas.

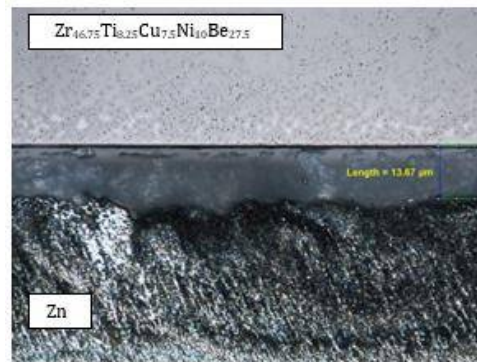


GAMBAR 1. Mikrograf optik kopel difusi Cu-Sn setelah proses anil pada temperatur 490 K selama 48 h. Gambar inset adalah sketsa gambar pemegang sampel.

8 November 2017

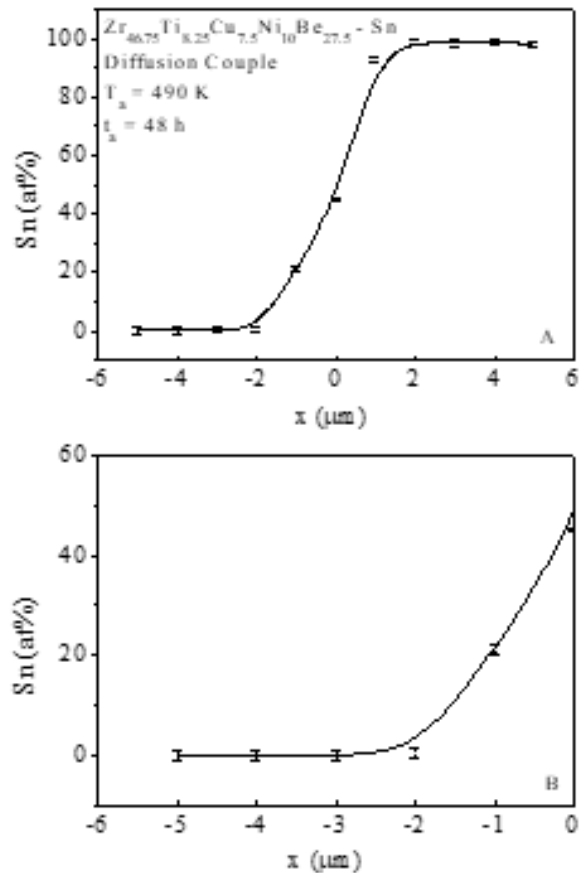


GAMBAR 2. Mikrograf optik kopel difusi gelas $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan kristal Sn setelah proses anil pada temperatur 490 K selama 48 h.



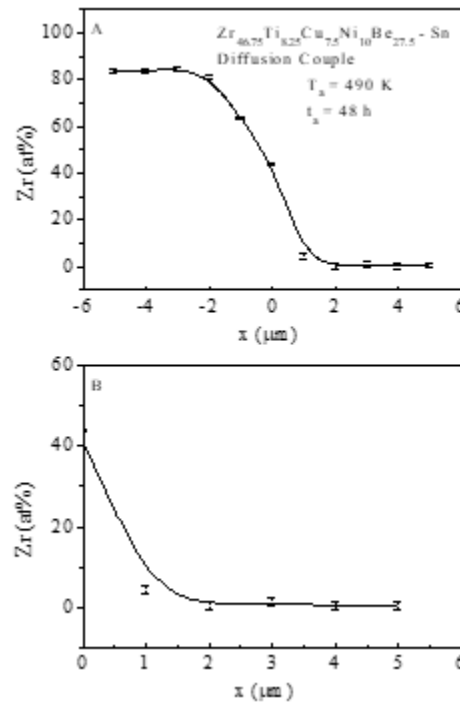
GAMBAR 3. Mikrograf optik kopel difusi gelas $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan kristal Zn setelah proses anil pada temperatur 600 K selama 48 h

8 November 2017



GAMBAR 4. A. Konsentrasi Sn pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Sn yang dianil pada 490 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Sn. Tanda negatif dari x menunjukkan posisi bagian $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan tanda positif untuk posisi bagian Sn. B. Plot (A) hanya untuk bagian $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ saja yang menunjukkan kedalaman Sn berdifusi

8 November 2017



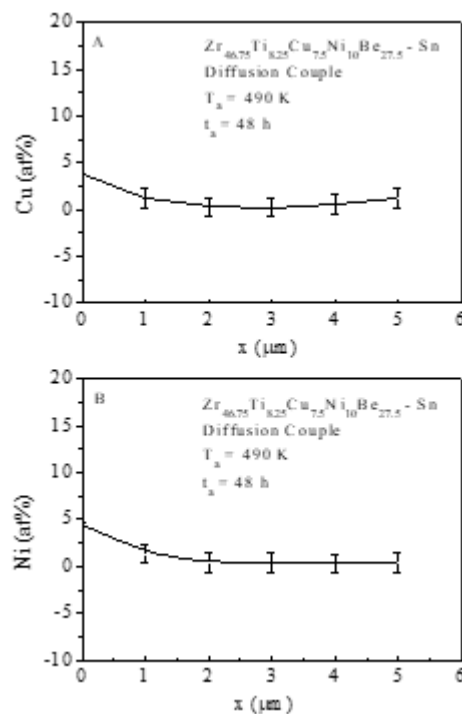
GAMBAR 5. A. Konsentrasi Zr pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Sn yang dianil pada 490 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Sn. Tanda negatif dari x menunjukkan posisi bagian $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan tanda positif untuk posisi bagian Sn. B. Plot (A) hanya untuk bagian Sn saja yang menunjukkan kedalaman Zr berdifusi

Konsentrasi unsur Sn setelah proses anil kopel gelas $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - kristal Sn ditunjukkan pada Gambar 4. Plot yang berhubungan untuk unsur Zr, Cu, Ni dan Ti ditunjukkan masing-masing pada Gambar 5, 6A, 6B, dan 7. Konsentrasi unsur Zn setelah proses anil kopel gelas $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - kristal Zn ditunjukkan pada Gambar 8. Plot yang berhubungan untuk unsur Zr, Cu, Ni dan Ti ditunjukkan masing-masing pada Gambar 9, 10A, 10B, dan 11.

Sebelumnya diperkirakan setelah proses anil, zona difusi pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Sn dan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Zn akan terbentuk lebih dari 10 μm , yang biasa terbentuk pada kopel difusi dua kristal, seperti terlihat pada Gambar 1, di mana zona difusi kopel Cu-Sn lebih dari 20 μm . Namun pada Gambar 4 - 11, dan dengan mempertimbangkan garis eror untuk pengukuran konsentrasi dengan EDX, tidak terjadi difusi lebih dari 2 μm dari batas permukaan dua bagian kopel.

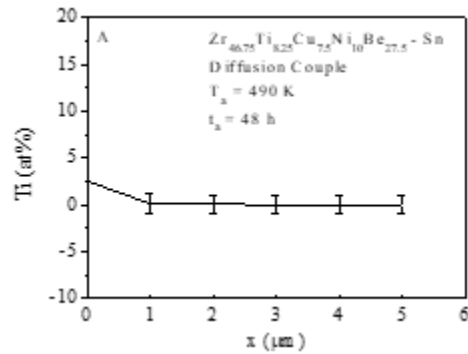
8 November 2017

Meskipun demikian, konsentrasi unsur-unsur pada zona difusi lebih kecil dari 2 μm dari batas permukaan masih signifikan mengingat eror pengukuran dari volume interaksi elektron insiden dan sampel, yang dihitung sebesar 1 μm dengan menggunakan simulasi Monte Carlo. Hasil observasi menunjukkan bahwa pada gelas metalik difusi terjadi terlalu lambat sehingga profil konsentrasi tidak dapat diplot lebih jelas. Jika temperatur dipilih lebih tinggi, difusi dapat terjadi lebih cepat sehingga zona difusi dan profil konsentrasi dapat terbentuk lebih jauh. Namun, pada temperatur yang lebih tinggi, gelas metalik mudah terjadi kristalisasi sehingga cara penaikan temperatur tidak dapat dilakukan. Untuk teknik karakterisasi permukaan, dapat juga digunakan *Electron Energy Lost Spectroscopy* (EELS) dan *Auger Electron Spectroscopy* (AES) sehingga resolusi profil konsentrasi untuk zona lebih kecil dari 2 μm menjadi lebih baik dibandingkan dengan hasil EDX. Namun dua teknik ini tidak dilakukan pada penelitian ini.



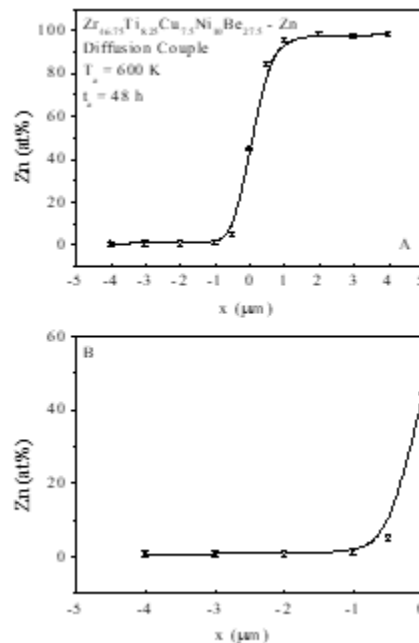
GAMBAR 6. A. Konsentrasi Cu pada bagian Sn pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Sn yang dianil pada 490 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Sn. B. Plot yang berhubungan untuk Ni.

8 November 2017



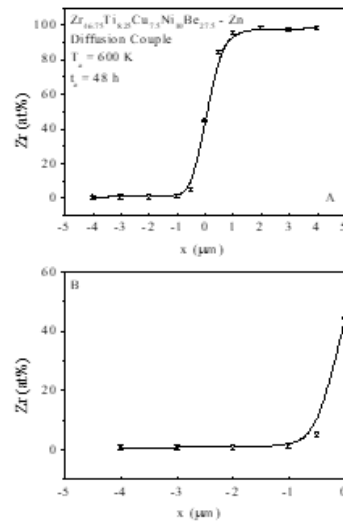
GAMBAR 7. Konsentrasi Ti pada bagian Sn pada kopel difusi $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5} - Sn$ yang dianil pada 490 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan

$Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan Sn.

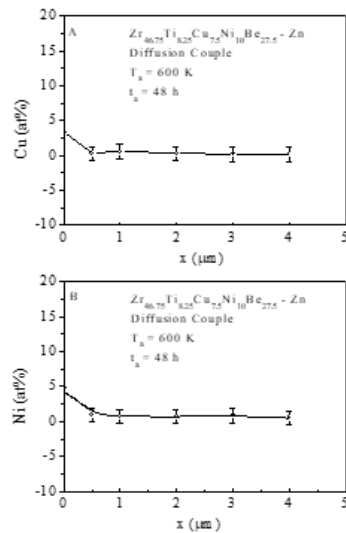


GAMBAR 8. A. Konsentrasi Zn pada kopel difusi $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5} - Zn$ yang dianil pada 600 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan Zn. Tanda negatif dari x menunjukkan posisi bagian $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ dan tanda positif untuk posisi bagian Zn. B. Plot (A) hanya untuk bagian $Zr_{46.75}Ti_{8.25}Cu_{7.5}Ni_{10}Be_{27.5}$ saja.

8 November 2017

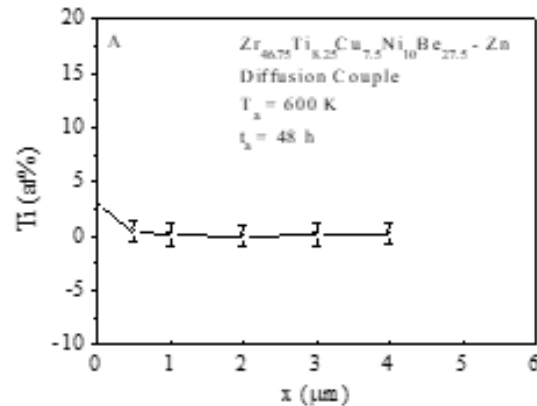


GAMBAR 9. A. Konsentrasi Zr pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Zn yang dianil pada 600 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Zn. Tanda negatif dari x menunjukkan posisi bagian $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan tanda positif untuk posisi bagian Zn. B. Plot (A) hanya untuk bagian Zn saja.



GAMBAR 10. A. Konsentrasi Cu pada bagian Zn pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ - Zn yang dianil pada 600 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Zn. B. Plot yang berhubungan untuk Ni.

8 November 2017



GAMBAR 11. Konsentrasi Ti pada bagian Zn pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5} - \text{Zn}$ yang dianil pada 600 K selama 48 h sebagai fungsi jarak, x , dari batas permukaan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5}$ dan Zn.

4. KESIMPULAN

Interdifusi antar atom sepanjang batas permukaan antara gelas metalik dan logam kristal murni terjadi secara terbatas, tetapi terjadinya *Kirkendall effect* masih dapat diobservasi. Jarak terjadinya interdifusi masih dapat digunakan untuk *diffusion bonding* antara gelas metalik dan logam murni. Unsur-unsur seperti Sn, Zn, Zr, Cu, Ni, dan Ti baik pada kopel difusi $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5} - \text{Sn}$ dan $\text{Zr}_{46.75}\text{Ti}_{8.25}\text{Cu}_{7.5}\text{Ni}_{10}\text{Be}_{27.5} - \text{Zn}$ selama anil dapat berdifusi mencapai jarak sejauh $2 \mu\text{m}$. Mekanisme difusi menjadi kompleks karena sifat kooperatif dari difusi dalam gelas. Selain itu, juga karena multiplisiti ukuran atom, bukan hanya difusi tipe *vacancy* yang sederhana dalam kisi kristal.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Professor G.P. Johari dari Departemen Ilmu dan Teknik Material, McMaster University, Kanada atas bantuannya pada penelitian ini. Penulis juga berterima kasih atas dukungan dari Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.

8 November 2017

REFERENSI

- Inoue, A., Zhang, T., and Masumoto, T., *Mater. Trans. JIM* **30** (1989) 965
1. Peker, A. and Johnson, W.L., *Appl. Phys. Lett.* **63** (1993) 2342
 2. Geyer, U., Schneider, S., Johnson, W.L., Qiu, Y., Tombrello, T.A., and Macht, M.-P., *Phys. Rev. Lett.* **75** (1995) 2364
 3. Budke, E., Fielitz, P., Macht, M.-P., Naundorf, V., and Frohberg, G., *Defect Diffus. Forum* **143-147** (1997) 825
 4. Ehmler, H., Heesemann, A., Ratzke, K., Faupel, F., and Geyer, U., *Phys. Rev. Lett.* **80** (1998) 4919
 5. Nakajima, H., Kojima, T., Zumkley, T., Nishiyama, N., and Inoue, A., in Proceedings of the International Conference on Solid-Solid Phase Transformation, Koiwa, M., Otsuka, K., and Miyazaki, T. (Eds.), Japanese Institute of Metals, Sendai, 1999, p. 441
 6. Zumkley, Th., Naundorf, V., Macht, M.-P., and Frohberg, G., *Scripta. Mater.* **45** (2001) 471
 7. Spaepen, F., in Physics of Defects, Balian, R., Kleman, M. and Poirer, J.P., North-Holland, Amsterdam, 1981, p. 135
 8. Haasen, P., in Amorphous Metals and Superconductors, Haasen, P. and Jaffee, R.I. (Eds.), Pergamon, Oxford, 1986, p. 108
 9. Cahn, R.W., in Materials Science and Technology, Cahn, R.W., Haasen, P., and Kramer, E.J. (Eds.), VCH, Weinheim, 1991, p. 403
 10. Schuehmacher, J.J. and Guraldenq, *Acta Metall.* **31** (1983) 2043
 11. Gupta, D., Tu, K.N., and Asai, K.W., *Phys. Rev. Lett.* **35** (1975) 796
 12. Tyagi, A.G., Macht, M.P., and Naundorf, V., *Acta Metall. Mater.* **39** (1991) 609
 13. Stelter, E.C. and Lazarus, D., *Phys. Rev. B* **36** (1987) 9545
 14. Chen, H.S., *J. Appl. Phys.* **49** (1978) 3289
 15. Rosenblum, M.P., Spaepen, F., and Turnbull, D., *Appl. Phys. Lett.* **37** (1980) 184
 16. Greer, A.L., Lin, C.J., and Spaepen, F., in Proc 4th Int. Conf. Rapidly Quenched Metals, Matsumoto, T. and Suzuki, K. (Eds.), Japan Institute of Metals, Sendai, 1982, p. 567
 17. Greer, A.L., *Nature* **402** (1999) 132
 18. Tang, X.P., Geyer, U., Busch, R., Johnson, W.L., and Wu, Y., *Nature* **402** (1999)

8 November 2017

19. Buchenau, U., Prager, M., Nucker, N., Dianoux, A.J., Ahmad, N., and Philips, W.A., *Phys. Rev. B* **34** (1986) 5665
20. Meyer, A., Wuttke, J., Petry, W., Randl, O.G., Schober, H., *Phys. Rev. Lett.* **80** (1998) 4454
21. Robler, U.K. and Teichler, H., *Phys. Rev. E* **61** (2000) 394
22. Smigelskas, A.D. and Kirkendall, E.O., *Trans. AIME* **171** (1947) 130
23. Jeffries, Z., *Trans. AIME* **70** (1924) 303
24. Zener, C., *Acta Cryst.* **3** (1950) 346

8 November 2017

Penerapan Mesin Cnc Router 3-Axis Untuk Pembuatan Produk Industri Kreatif Berbasis Teknologi Bahan Aluminium

Suharto^{1A)}, Sisworo¹⁾, Ariawan W Pratomo¹⁾, & Bambang Tjahono¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

E-mail: pakharto58@gmail.com

Abstrak

Industri Kreatif mempunyai ciri unggul pada sisi kreativitas dalam menghasilkan berbagai produk barang atau jasa. Kendala saat ini pembuatan produk kreatif masih menggunakan cara manual sehingga kurang kompetitif. Tujuan penelitian ini untuk menerapkan keunggulan mesin router CNC 3-axis dalam meningkatkan produktifitas kerajinan industri kreatif berbasis bahan aluminium. Metode yang digunakan dimulai dengan merancang produk kreatif, membuat cetakan bahan aluminium, dan menguji coba cetakan dengan bahan resin karet. Pembuatan desain dengan software corelDraw dan Aspire Vectric sedangkan pemesinan dengan software Mach-3 dan mesin CNC router 3-axis buatan lokal. Hasil perancangan produk kreatif berupa 2 buah gantungan kunci ukuran 52x60 (mm) dan 50x60 (mm), cetakan bahan aluminium masing-masing ukuran 10x80x80 (mm) dengan waktu pemesinan 2 jam 48 menit dan 3 jam 12 menit.

Kata kunci: aluminium, cetakan, mesin CNC router 3-axis, produk kreatif

1. PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini sudah sedemikian maju, namun sebagian orang masih menggunakan cara pembuatan produk dengan cara konvensional. Pembuatan cetakan secara konvensional mempunyai kekurangan pada produktifitas, waktu pembuatan dan minimnya variasi desain sehingga belum mampu memenuhi tuntutan konsumen. Penggunaan mesin CNC router 3-axis menjadi salah satu pilihan untuk memenuhi tuntutan konsumen yang semakin tinggi, baik dari segi kualitas maupun kuantitas.[1].

Era industrialisasi dewasa ini telah meningkatkan kebutuhan dan penggunaan mesin CNC seiring dengan permintaan produk-produk komponen mesin yang presisi. Mesin CNC router 3-axis dapat memproduksi cetakan dari bahan-bahan non ferro, seperti aluminium, tembaga, kuningan, acrylic, dllnya tergantung pada beberapa faktor, antara lain: bentuk geometri produk yang diproduksi, kualitas alat potong, dan keahlian operator/programmer.[2]

8 November 2017

Penelitian terdahulu, yakni pembuatan canting batik cap bahan aluminium dengan mesin CNC router berbantu software mastercam pernah dilakukan untuk pengkayaan motif batik nasional. [3] Penelitian yang lain, bahan alternatif seperti aluminium, baja lunak (mild steel), kayu, tembaga masif, yang digunakan untuk pembuatan canting batik cap di wilayah Pekalongan dengan pemanfaatan mesin CNC router 3-axis. [4]. Menurut Salam, A.Rohman (2013) Mesin CNC diklasifikasikan berdasarkan bentuk, posisi spindle, jumlah axis dan kecepatan spindle. Berdasarkan ukuran bentuknya, mesin CNC dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yaitu *plano* dan *gantry*. Berdasarkan posisi dari spindle, mesin CNC dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu tipe horizontal dan tipe vertikal. Axis adalah poros putar pada spindle dan meja kerja. Berdasarkan jumlah axis, jumlah poros putar pada mesin CNC terbagi menjadi beberapa macam, yaitu 2 axis, 3 axis, 4 axis dan 5 axis. Berdasarkan kecepatan spindle, mesin CNC dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *high speed machining* dan *low speed machining*. [5]. Mesin CNC Router 3-axis dapat dikategorikan sebagai mesin CNC dengan kecepatan putaran spindle tinggi atau *high speed machining*. Gambar 1 ditunjukkan mesin CNC Router 3-axis buatan lokal CV Retro Kreasi Machinery Semarang, berikut ini:



Tujuan penelitian ini untuk menerapkan keunggulan mesin router CNC 3-axis dalam meningkatkan produktifitas kerajinan industri kreatif berbasis bahan aluminium. Keunggulan pembuatan produk dengan CNC router 3-axis adalah hasilnya lebih baik, bentuk & ukuran sama dengan waktu lebih cepat. Variasi desain dapat dibuat dengan bantuan software (perangkat lunak) yang sudah dikenal di masyarakat. Software adalah bagian yang penting dalam membangun mesin CNC. Program yang dilaksanakan oleh breakout board dan driver, terdiri dari berbagai macam instruksi dari software untuk melakukan perintah kerja.

8 November 2017

Hal-hal yang diinstruksikan software untuk breakout board dan driver adalah pergerakan motor stepper, spindle serta pengaturan relay, limit switch dan emergency stop. Mesin CNC 3-axis untuk pembuatan cetakan bahan aluminium menggunakan beberapa software pendukung sebelum dieksekusi oleh Mach3, yaitu CorelDraw, Aspire Vectric.

Mach3 adalah sebuah software yang ditemukan oleh Art Fenerty pada tahun 2001 dan dikembangkan oleh ArtSoft. Software ini berfungsi untuk mengimplementasikan semua perintah ke driver dalam menjalankan mesin CNC router 3-axis. Hal yang dapat diperintahkan software Mach-3 ini yaitu pergerakan motor stepper (pergerakan axis) dalam bentuk G/M code, perputaran dan kecepatan spindle, setting limit switch, setting relay dan setting emergency stop. Perintah-perintah tersebut merupakan dasar dari pemrograman mesin CNC router 3-axis, sehingga membuat software Mach3 menjadi software utama dalam pemrograman mesin CNC router 3-axis.[6]. CorelDraw adalah sebuah program komputer yang melakukan editing pada garis vektor. Program ini dibuat oleh Corel, sebuah perusahaan software yang berkantor pusat di Ottawa, Kanada. Corel draw memiliki kegunaan untuk mengolah gambar, oleh karena itu banyak digunakan pada pekerjaan dalam bidang publikasi atau percetakan ataupun pekerjaan di bidang lain yang membutuhkan proses visualisasi. Keunggulan CorelDraw mamou menghasilkan gambar yang dihasilkan dengan vektor atau berbasis vektor. CorelDraw digunakan sebagai alat untuk mendesain dengan hasil yang lebih berkualitas dalam mengkolaborasikan antara tulisan dengan gambar terutama ketika berhubungan dengan lengkungan, garis atau sudut. [7]. Software Aspire Vectric merupakan salah satu program yang digunakan dalam CAD/CAM untuk memberikan solusi pembuatan produk industri kreatif dengan menonjolkan pada dekorasi dan artistik. Kombinasi fitur artistik ini sering digunakan dalam pembuatan produk dengan mesin CNC router 3-axis. Bahan-bahan yang digunakan pembuatan bermacam-macam kerajinan produk kreatif bahan aluminium, tembaga, kuningan, kayu, acrylic mempunyai hasil yang baik. [8]

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 MATERIAL

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak dengan warna *silver grey*. Aluminium merupakan logam yang ringan karena mempunyai berat jenis yang ringan yaitu sekitar $2,7 \text{ g/m}^3$, memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik

8 November 2017

dan sifat - sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya.[9] Terdapat beberapa sifat penting yang dimiliki Aluminium sehingga banyak digunakan sebagai Material Teknik, diantaranya: (a) Penghantar listrik dan panas yang baik (konduktor); (b) Mudah difabrikasi; (c) Ringan; (d) Tahan korosi dan tidak beracun; (e) Kekuatannya rendah, tetapi paduan (alloy) dari Aluminium bisa meningkatkan sifat mekanisnya. Gambar 2 menunjukkan mesin CNC router, hasil produk dan bahan baku.

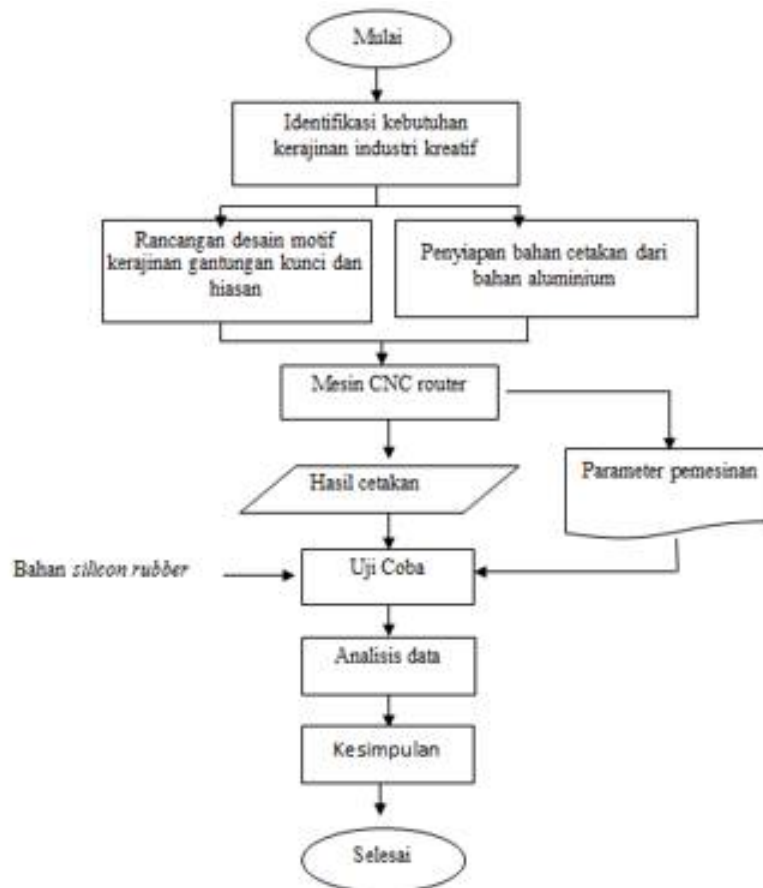


Gambar 2. Mesin CNC Router, bahan, dan hasil produk

Sumber: diolah dari berbagai referensi

8 November 2017

2.2 METODE



Gambar 3. Metode penelitian

Diawali dengan identifikasi kebutuhan bersama mitra CV Retro Kreasi Machinery Semarang dan Erisa Griya cetak Pekalongan membuat gantungan kunci dari bahan silicon rubber dengan dicetak dari mould bahan aluminium. Variasi desain dan produk jadi dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi komputer yang terintegrasi dalam mesin milling CNC router 3-axis. Dengan mempertimbangkan QCD (= quality-cost-delivery). *Cost* merupakan kemampuan perusahaan mengefisienkan proses usahanya sehingga dicapai kemampuan kompetisi berdasarkan keunggulan harga yang berasal dari keunggulan biaya produksi atau operasi. *Quality* merupakan kemampuan perusahaan untuk menghasilkan kombinasi kualitas yang lebih baik dibandingkan pesaing, dan *Delivery* merupakan kemampuan perusahaan untuk memenuhi pesanan secara tepat jumlah, dan waktu.

8 November 2017

Dilanjutkan dengan rancangan desain motif kerajinan gantungan kunci, hiasan kreatif berbasis komputer, penyiapan bahan baku cetakan dari aluminium untuk dilakukan proses pembuatan produk cetakan dengan memanfaatkan software corelDraw, Aspire Vectric, Mach3 dan kemampuan mesin CNC router 3-axis. Hasil produk cetakan dari bahan aluminium ini akan digunakan sebagai cetakan produk kreatif gantungan kunci, hiasan kreatif. Penelitian dilakukan dengan mengambil data parameter pemesinan terkait dengan waktu pengerjaan, putaran spindel, feedrate, kedalaman pemotongan yang dikorelasikan dengan hasil cetakan. Selanjutnya, hasil ujicoba cetakan dengan bahan produk silicon rubber dilakukan dengan parameter waktu dan kualitas hasil. Diharapkan dengan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi pada UKM mitra agar mampu menerapkan pembuatan kerajinan dengan kualitas baik, produktifitas meningkat, hasil produk seragam yang berbasis teknologi dan bernilai ekonomi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL DESAIN (CAD)

Benda kerja : 2 (dua) buah Gantungan kunci bahan Silicon Rubber

Nama : cetakan love polines dan alumni mesin

Bahan : aluminium

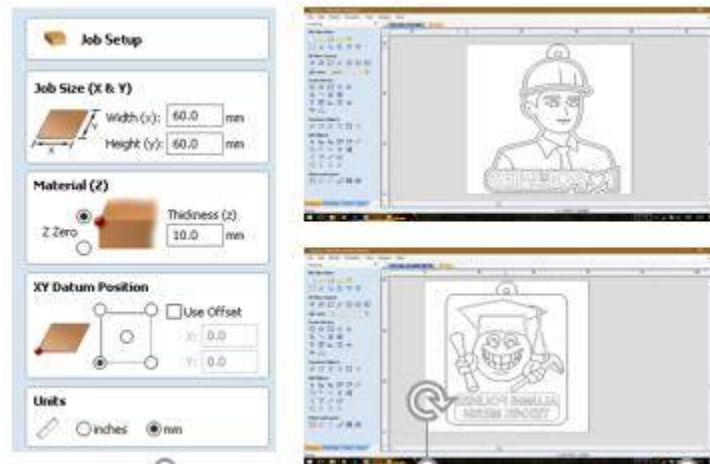
Ukuran : (60 x 60 x 10)

Tahapan mendesain gantungan kunci love polines dan alumni mesin menggunakan Software CorelDraw dan Aspire Vectric. (a) Input gambar pada halaman CorelDraw kemudian (b) Tracing gambar dan hilangkan bagian yang berwarna, (c) simpan file dalam format .dwg. (gambar 4)

Selanjutnya (d) buka software Aspire Vectric, setting ukuran benda kerja, lalu (e) input gambar gantungan kunci yang telah dibuat dan langsung di mirror. (gambar 5)



Gambar 4. Hasil desain gantungan kunci



Gambar 5. Seting ukuran bahan dan Mirror gambar



Gambar 5. Hasil simulasi dan G-code

Lalu (f) pada menu toolpath pilih metode *Pocket Toolpath* dimana nanti akan dihasilkan alur kantong (pocket) yang mengikuti bentuk dan atur parameternya seperti gambar. (g) Blok garis yang paling luar, lalu pilih *cutting tools* yang akan digunakan, disini digunakan *cutting tools* jenis endmill diameter 6 (mm) dan 1 (mm). Selanjutnya klik calculate, dan simulasikan hasilnya. Jika anda belum berpuas hati dengan hasilnya, dapat dilakukan dengan 'adjust' semua proses tersebut terutama pada 'Line Spacing' dan 'Rapid Clearance gap'. Setelah hasilnya memuaskan dengan 'finishing' yang dikehendaki, klik pada 'Preview & Save Toolpath'. Simpan (save) G-Code tersebut dalam format mach3 .txt. untuk digunakan semasa proses pemesinan (machining process) pada CNC Router 3-axis.

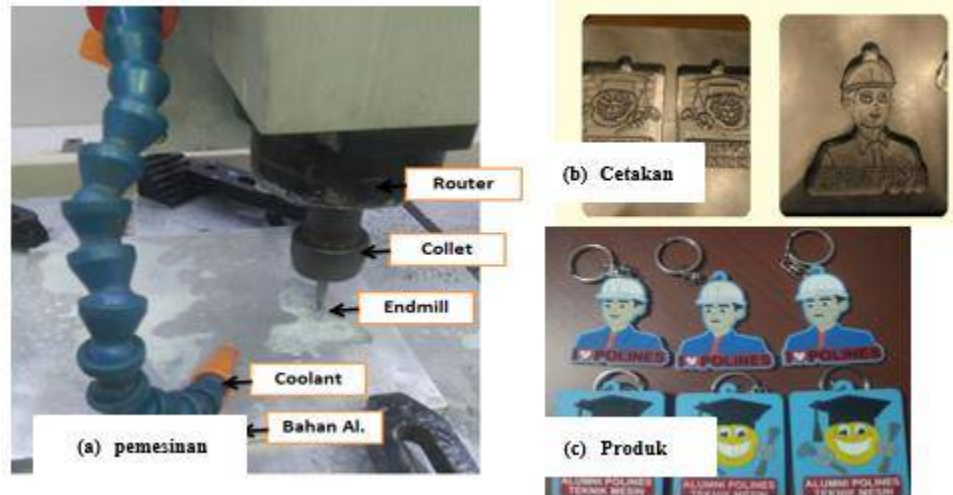
3.1 HASIL PEMBUATAN (CAM)

Proses pembuatan cetakan bahan aluminium untuk produk gantungan kunci bahan silicon rubber dilakukan dengan input G-code format mach3.txt ke dalam komputer mesin CNC router 3-axis. CAM (*computerize aided manufacture*) dengan mesin CNC router 3-axis, langkah-langkah: (a) Persiapan ; (b) Sambungkan mesin ke sumber listrik; (c) Hidupkan Komputer; (d) Hidupkan Mesin; (e) Pasang Benda Kerja; (f) Masuk software Mach3 pada komputer mesin CNC router. Parameter pemesinan berdasarkan ujicoba diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter pemesinan Mesin CNC router

<u>Parameter pemesinan:</u>	<u>Parameter pemesinan:</u>	<u>Pelaksanaan :</u>
<u>Pocket Toolpath 1</u>	<u>Pocket Toolpath 2</u>	<u>Pasang endmill 6 mm.</u>
(1) jenis cutting tools: Endmill	(1) jenis cutting tools: Endmill	Input G-Code pertama yang telah dibuat.
(2) ukuran cutting tools : 6 mm	(2) ukuran cutting tools : 1 mm	Setting Nol Sumbu X,Y,Z Benda Kerja.
(3) feedrate : 70 mm/mnt	(3) feedrate : 200 mm/mnt	Lalu jalankan program.
(4) putaran spindle: 4000 rpm	(4) putaran spindle: 10000 rpm	Setelah selesai pasang endmill 1 mm.
(5) kedalaman pemotongan: 1 mm	(5) kedalaman pemotongan: 0.5 mm	Input G-Code kedua yang telah dibuat.
(6) jumlah pemotongan: 3 kali	(6) jumlah pemotongan: 1 kali	Setting Nol hanya sumbu Z benda kerja.
(7) Plunge Rate: 10 mm/mnt	(7) Plunge Rate: 10 mm/mnt	Lalu jalankan program.

8 November 2017



Gambar 6. Pemesinan, cetakan, dan produk

Pada software vectric waktu pemesinan cetakan benda kerja 1 (love polines) dibutuhkan waktu sekitar 2jam30 menit sedangkan pemesinan cetakan benda kerja 2 (alumni mesin) dibutuhkan waktu sekitar 3 jam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisa proses pemesinan pada mesin CNC router 3-axis maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berhasil membuktikan keunggulan mesin CNC router 3-axis untuk membuat 2(dua) buah cetakan bahan aluminium dengan ukuran tebal 10 (mm), lebar 80 (mm), panjang 80 (mm)
2. Waktu yang dibutuhkan untuk membuat cetakan 1 sebesar 2jam 30 menit, dan cetakan 2 sebesar 3 jam.

Cetakan aluminium dapat digunakan untuk produksi kerajinan bahan silicon karet berbentuk gantungan kunci ukuran 3x60x60 (mm) dengan hasil bentuk, ukuran seragam.

3. Ujicoba dilakukan menghasilakn parameter pemesinan ukuran cutting tool 6 (mm), feedrate 70 mm/mnt, putaran spindle 4000 (rpm) kedalaman pemotongan 1 (mm) jumlah pemotongan 3 kali dan pemesinan ukuran cutting tool 1 (mm) putaran spindle 10000 (rpm).
4. Variasi desain produk dapat dilakukan dengan bantuan software CorelDraw, aspire vectric, dan Mach3.

8 November 2017

SARAN

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengembangkan aplikasi Mesin CNC router untuk pembuatan produk kreatif lainnya bahan kaca, acrylic, batu alam, marmer untuk meningkatkan produktifitas, efektifitas, dan efisiensi.

Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktur Politeknik Negeri Semarang (Polines), Kepala P3M Polines, Tim Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, CV Retro Kreasi Machinery Semarang, atas kerjasamanya sehingga program ini bisa berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suryanto, Suharto, VS Tri Priyo, Sarana, Iwan Hermawan, & Agus Suwondo. 2014. *Innovation of Making of the Batik Stamp Stand for Development of National Batik*. Paper dalam Seminar International : Engineering International Conference- Education, Concept and Application of Green Technology, June 2014 at, UNNES, Semarang.
- [2] Suharto, Suryanto, Sarana. 2016. *Pengembangan Rancang Bangun Canting Batik Cap Berkualitas Biaya Murah*. Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Semarang, 15 – 16 Oktober 2016, PROSIDING Vol. 01, Tahun 2016. ISSN: 2477 – 2097. pp.344-352
- [3] Suryanto, Suharto, VS Tri Priyo, Sarana, Iwan Hermawan, & Agus Suwondo.2015. *Pembuatan Canting Batik Cap (CBC) Menggunakan Mesin CNC Router Berbasis Software Mastercam*. Science And Engineering National Seminar 1 (SENS 1) UPGRIS - Semarang, 8 Agustus 2015. Prosiding ISBN : 978-602-0960-12-8. pp.95-100.
- [4] Suharto, Suryanto, VS Tri Priyo, Sarana, Iwan Hermawan, & Agus Suwondo. 2014. *Bahan Alternatif Pembuatan Canting Batik Cap (CBC)*. Prosiding SNST ke-5 Tahun 2014. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. pp.25-31.
- [5] Salam, A. Rohman. 2013, *Proses Pembuatan Part RIB AT STN WFX 365.514 Komponen dari Sayap Pesawat Airbus A380*, Laporan Kerja Praktek, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Nanda Afrilyan. 2015. *Pemodelan Mesin CNC Engraving Untuk Pembuatan PCB*. Fakultas Teknik Program Studi S-1 Teknik Mesin. Universitas Diponegoro. Skripsi.
- [7] Irfan Afandi. 2014. *Belajar CorelDraw X4 Panduan Belajar dan Praktek*. Modul CorelDraw. MAN 2 Banjarnegara. <https://www.scribd.com/doc/89167017/Modul-Corel-Draw-X4>.

8 November 2017

[8] *Getting Started With 3D in Aspire. Introduction to Modelling Ocean Drive House Sign Tutorial . (c) Vectric Ltd The Coach House Upper Skilts Farm Gorcott Hill, Beoley B98 9ET UK. support@vectric.com. www.vectric.com/support/training-material/aspire.html*

[9] Surdia, T., Saito, S., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan Ke-3*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Rekayasa Dan Manufaktur Material Untuk Meningkatkan Ketahanan Balistik (Review Artikel)

Helmy Purwanto^{1,a)}, Rudy Soenoko², Anindito Purnowidodo², & Agus Suprpto³

1 Mahasiswa Program Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang

² Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

³ Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka, Malang

a) helmypurwanto@unwahas.ac.id

Abstract.

Ketahanan balistik adalah kemampuan terhadap beban impak yang diakibatkan dari laju proyektil. Penelitian dan pengembangan material tahan balistik telah banyak dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketahanan balistik serta menurunkan berat jenisnya untuk digunakan pada kendaraan militer. Peningkatan ketahanan balistik dilakukan meliputi rekayasa material baru maupun manufakturnya. Penemuan dan rekayasa material baru maupun manufaktur ditulis dalam artikel ini. Telah dilakukan rekayasa material melalui perlakuan panas pada logam dan pembuatan komposit dengan material keramik maupun material polimer. Dampak balistik pada sampel panel memperlihatkan karakteristik yang berbeda pada setiap jenis material dan manufakturnya.

Kata kunci : material, manufaktur, tahan balistik

1. PENDAHULUAN

Ketahanan balistik adalah kemampuan beban yang diakibatkan oleh beban impak. Beban impak biasanya bersumber dari laju proyektil atau pecahannya. Material tahan balistik adalah material yang mampu menahan laju proyektil. Laju proyektil dengan kecepatan super tinggi sehingga mempunyai gaya impak yang besar harus mampu diserap dan ditahan oleh material tahan balistik. Sedangkan pengembangan material sebagai bahan proyektil adalah sebaliknya, yaitu pemilihan material yang mampu menembus material tahan balistik. Material tahan balistik banyak diaplikasikan pada peralatan militer [1] seperti pada kendaraan lapis baja, kendaraan tempur dan kendaraan taktis lainnya serta pakaian atau rompi tahan peluru.

8 November 2017

Kendaraan militer digunakan sebagai kendaraan serang dan kendaraan pertahanan. Ketahanan balistik, mobilitas dan kelincahan serta efisiensi menjadi faktor dalam perancangannya [2]. Pengembangan material baja sebagai konstruksi kendaraan tempur telah banyak ditemukan, tetapi baja masih menjadi bahan utama dalam konstruksi kendaraan tempur [3]. Baja mudah di manufaktur dan dipadukan maupun dikombinasi dengan material lain sebagai komposit/komposit berlapis. Fungsi utama material armor adalah sebagai proteksi dan konstruksi [4].

Kemampuan material tahan balistik tidak hanya pada sifat kekerasannya saja, sifat yang lain seperti kekuatan dan ketangguhan harus dipadukan [5]. Ketebalan material juga berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Semakin tebal maka ketahanan balistik semakin naik. Ketebalan akan berpengaruh terhadap berat konstruksi. Semakin tebal maka berat konstruksi juga menjadi semakin besar karena luasan densitinya meningkat. Sehingga berpengaruh terhadap mobilisasi jika digunakan sebagai rompi maupun kendaraan militer. Keberhasilan misi militer adalah mampu menyerang, melindungi dan mampu melarikan diri dengan aman jika dalam keadaan terdesak dalam pertempuran [6]

Pengembangan material tahan balistik meliputi pengembangan material baru melalui rekayasa pemaduan, perlakuan panas pada baja, dan manufakturnya dengan ketahanan balistiknya meningkat dan luasan densitinya menurun. Artikel ini bertujuan merangkum dan mengulas hasil penelitian pengembangan material tahan balistik melalui melalui rekayasa material dan manufakturnya untuk meningkatkan ketahanan balistiknya yang ditinjau dari dampak proyektil pada material tahan balistik.

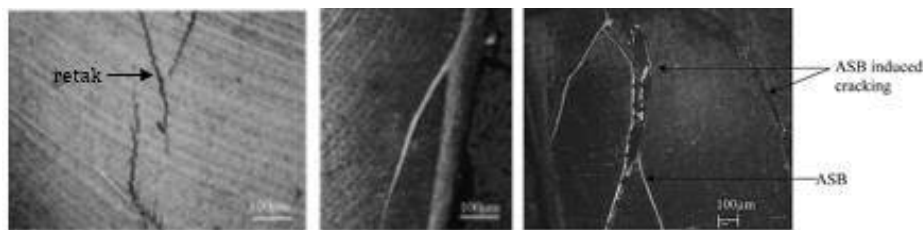
2. REKAYASA MATERIAL TAHAN BALISTIK

Rekayasa material telah banyak dilakukan dan diteliti dampak akibat proyektil yang terjadi pada material. Material yang telah banyak diaplikasikan sebagai material tahan balistik seperti baja, aluminium, keramik, komposit dengan penguat serat kaca, komposit berlapis [1] dan lain sebagainya. Perlakuan pengerasan dengan celup dan dilanjutkan temper pada berbagai variasi suhu menghasilkan dampak yang berbeda. Temper suhu rendah mampu meningkatkan ketahanan balistik [5]. Struktur martensit hasil celup masih terlihat pada temper suhu rendah. Temper pada suhu yang rendah mempertahankan kekerasannya. Kekerasan yang tinggi mampu menurunkan kedalaman penetrasi ujung proyektil pada sampel uji.

8 November 2017

Penggunaan logam ringan tidak lebih baik dibandingkan dengan baja ditinjau dari luasan densitinya [7]. Aluminium 7017 dalam bentuk plat tebal yang telah dirol belum mampu menahan laju proyektil pada luasan density yang sama pada baja yang distemper suhu rendah. Perlakuan panas pada baja SCr 440 meningkatkan ketahanan balistik akibat kenaikan kekerasannya [8].

Austenisasi pada suhu 910°C , dilanjutkan proses temper dan rol menghasilkan formasi ASB (*Adiabatic Shear Band*) pada daerah disekitar lubang balistik [9]. Pita adiabatic ini muncul panas akibat gaya geser tidak sempat dipindahkan sekelilingnya [10] yang terjadi pada daerah yang sempit [11]. Munculnya pita ini dapat menyebabkan kerusakan pada plat baja [12] akibat pembentukan mekanik [13]. Lubang yang terbentuk akibat tumbukan proyektil merupakan mekanisme penyebaran retak yang terjadi pada material [14]. Pembentukan pita adiabatic dan retak seperti terlihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Pita adiabatic dan retak pada plat baja setelah dilakukan uji balistik [9]

Penggunaan baja dengan kandungan Nikel (Ni), Chrom (Cr) dan Molibdenum (Mo) banyak diaplikasikan pada kendaraan lapis baja [14] Adanya kandungan unsur tersebut mampu meningkatkan kekerasan dan ketahanan karat seperti pada baja perkakas.

Penambahan karbida silicon pada aluminium mampu meningkatkan ketahanan balistik dan mengurangi luasan densitas [15]. Penambahan 10 % silicon karbida menghasilkan kinerja balistik yang lebih unggul dibanding komposit Al-Zn-6Mg dengan unsur paduan 5 wt.% Zn.

Rekayasa material dilakukan untuk meningkatkan kekerasan. Material tahan balistik secara umum meningkat seiring dengan naiknya nilai kekerasan. Pada titik optimal kekerasannya, ketahanan balistik menurun. Hal ini disebabkan kegagalan pergeseran [16]. Hal yang sama juga berlaku pada kedalaman penetrasi proyektil, kekerasan optimal dibutuhkan untuk ketahanan balistik yang optimal juga [5].

8 November 2017

3. MANUFAKTUR MATERIAL TAHAN BALISTIK

Manufaktur dalam kontruksi juga dapat berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Karakter balistik dipengaruhi oleh kekerasan untuk memecah ujung proyektil dan ketangguhan untuk menyerap energy benturan [17]. Manufaktur untuk meningkatkan ketahanan balistik dapat dilakukan dengan sistem lapisan, baik ganda maupun multi lapis (*multi layered*). Bentuk manufaktur berlapis atau juga disebut sandwich dilakukan pada material yang sama maupun pada material yang berbeda sehingga dapat juga disebut komposit berlapis. Telah banyak penelitian yang dikembangkan baik secara simulasi maupun ekperimen laboratorium. Gambar skema pembuatan plat berlapis seperti terlihat pada Gambar 2.



GAMBAR 2. Sekema susunan pembuatan plat tunggal dan berlapis [17, 18, 19, 20]

Penggunaan software yang berbasis elemen hingga dilakukan untuk mensimulasi kinerja plat tahan balistik. Penggunaan plat baja tunggal mempunyai kinerja balistik yang lebih baik dibandingkan plat baja dan aluminium dengan ketebalan yang sama [18] dengan menggunakan simulasi LS-DYNA. Simulasi dan ekperimen dengan membuat lapisan tipis karet, teflon dan busa aluminium pada keramik. Lapisan karet tidak mampu memperlambat tegangan dibandingkan dengan lapisan teflon dan busa aluminium.

Tetapi kerusakan keramik menjadi minimal dibandingkan dengan lapisan teflon dan busa aluminium [19]. Walaupun karet tidak signifikan menurunkan ketahanan balistik tetapi mampu meredam dan menurunkan kerusakan keramik akibat benturan proyektil. Kerusakan arah radial terjadi pada keramik dengan tambahan teflon dan busa aluminium.

Penambahan elastomer pada logam berpengaruh terhadap ketahanan balistik peluru tumpul [20]. Fase viskoelastik menyebabkan berkurangnya tekanan balistik. Lapisan elastomer pada menyebabkan distribusi energy menyebar rata pada permukaan plat. Penggunaan jenis elastomer yang berbeda berpengaruh terhadap kinerja balistik, karena setiap jenis elastomer mempunyai viskoelastik yang berbeda. Sehingga daya serap energinyapun berbeda [21].

8 November 2017

Penggunaan proyektil dengan ujung tumpul pada plat tunggal dan berlapis serta diberikan celah diantara plat dilakukan untuk mengetahui kinerja balistiknya [22]. Semakin tebal plat ketahanan balistiknya semakin baik, pemberian celah antara kedua plat dapat meningkatkan ketahanan balistiknya, semakin lebar celah maka ketahanan balistiknya semakin baik. Susunan plat yang lebih tebal pada bagian muka juga menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan plat yang tipis dengan total tebal yang sama. Hasil percobaan juga menunjukkan plat tunggal lebih baik dibandingkan dengan plat tipis berlapis.

Pembuatan plat berlapis ganda hingga enam lapisan telah dilaporkan [23]. Ujung prorektil hemispherical ditembakkan untuk mengetahui balistik limitnya. Balistik limit meningkat seiring dengan jumlah lapisan plat. Penambahan celah udara antar plat sedikit berpengaruh terhadap ketahanan balistik. Pemilihan plat tebal pada bagian depan mempunyai kinerja balistik yang lebih baik dibandingkan plat tipis pada bagian depan. Plat berlapis dengan jenis plat yang berbeda juga berpengaruh terhadap kinerja balistik. Plat dengan kekuatan tinggi pada yang diletakkan pada sisi depan memiliki ketahanan balistik yang lebih baik dibandingkan dengan susunan sebaliknya [24] Manufaktur plat monolitik menghasilkan balistik *limit velocity* lebih tinggi dibandingkan dengan plat yang dibuat berlapis [25].

Analisa kecepatan sisa dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi berbasis elemen hingga. Lapisan dengan kombinasi aluminium-poliurea menunjukkan hasil yang bahwa penambahan poliurea menunjukkan pengurangan kecepatan sisi proyektil [17]. Penambahan poliurea pada plat aluminium mampu menyerap energi laju proyektil [26]. Penyerapan energi dihitung dengan sisa kecepatan proyektil setelah menembus panel balistik. Penambahan poliurea juga dapat menurunkan luasan densiti. penambahan poliurea pada sisi belakang mempunyai ketahanan balistik yang lebih unggul dibandingkan dengan pada sisi belakang.

Penambahan karet diantara plat tahan karat dan komposit hibrida dilakukan untuk mengetahui ketahanan balistik dari berbagai sudut serang [27]. Penambahan karet secara umum mampu mampu meningkatkan ketahanan balistik. Sedangkan perbedaan sudut serang berakibat pada pembentukan deformasi pada plat. Penambahan keramik alumina pada plat UHMPE yang diantara lapisan tersebut diberikan material yang divariasikan Ti_6Al_4V , *carbon fiber plate*, paduan aluminium [28].

8 November 2017

Lapisan Ti_6Al_4V memperlihatkan kinerja balistik yang paling baik dibandingkan dengan pemilihan material lainnya. Lapisan ini meningkatkan keseimbangan energi pada lapisan tengah yaitu plat UHMPE.

4. KESIMPULAN

Material tahan balistik terus dikembangkan baik dari pemuadannya, melalui perlakuan panas, pemilihan material baru maupun proses manufakturnya. Dampak balistik beberapa rekayasa material dan manufaktur memperlihatkan karakteristik balistik yang terlihat dan terukur pada sampel. Upaya yang dilakukan dalam pengembangan plat tahan balistik adalah peningkatan ketahanan balistik dan pengurangan luasan densitinya.

ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui Program Hibah Disertasi Doktor dengan nomor kontrak 025/K6/SP2H/PENELITIAN/2017. Diucapkan terimakasih kepada Bapak Menteri beserta jajarannya.

8 November 2017

REFERENSI

- Karagoz, S., Atapek, H. & Yilmaz, A. 2008. A. Microstructural Characterization And Effects On Mechanical Properties Of Boron Adde Armour Steel. *13th International Conference On Applied mechanics And Mechanical Engineering*. Cairo.
- Montgomery, S. & Chin, E. 2004. Protecting a Future Force- A New Generation of Metallic Armors Leads The Way. *AMPTIAC Quarterly*. 6.
- Kılıç, N. & Ekici, B. 2013. Ballistic Resistance Of High Hardness Armor Steels Against 7.62 Mm Armor Piercing Ammunition. *Materials and Design*. 44: 35–48.
- Rahmalina, D.. 2012. Pengembangan Komposit Matrik Aluminium Sebagai Material Armour dengan Keunggulan Karakteristik Balistik. *Disertasi Program Doktor* (tidak dipublikasikan) Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Jena, P.K., Mishra B.I., Ramesh. B.M., Babu, A., Singh, A.K. & Siva Kumar, K. 2010. Effect Of Heat Treatment on Mechanical And Ballistic Properties Of A High Strength Armour Steel. *International Journal of Impact Engineering*. 37: 242–249.
- Brinson, L.C, Allison,J., Julie Chen, Clarke, D.R., Cowles, B., George, T., Greene, E., Harris, W.L. , Mehta, M., Olson, G.B., Saff, C., Tenney, D.R., Zok, F.W., (Committee On Benchmarking The Technology And Application of Lightweighting). 2012. *Application of Lightweighting Technology to Military Aircraft, Vessels, And Vehicle*. Washington DC: National Academy Press : 93
- Jena, P.K, Mishra, B.I, Siva Kumar, K. & Bhat, T.B. 2010. An Experimental Study On The Ballistic Behavior of Some Metallic Armour Materials Against 7.62 mm Deformable Projectile. *Materials and Design*. 31: 3308–3316
- Bandanadjaja, B., Basuki, A. & Siswosuwarno, M. 2008. Perilaku Balistik Baja Komersial SCR 440 dengan Kekerasan Berlapis (dual hardness) dalam Simulasi dan Eksperimen, *Prosiding Seminar Nasional Teknoin Bidang Teknik Mesin*. A 31 – A 36. Yogyakarta : UII
- Mishra, B., Jena, P.K., Ramakrishna, B., Madhu, V., Bhat, T.B. & Gupta, N.K. 2012. Effect of Tempering Temperature, Plate Thickness And Presence Of Holes On Ballistic Impact Behavior And ASB Formation Of A High Strength Steel. *International Journal of Impact Engineering*. 44: 17-28.

8 November 2017

- Kim, D.K., Lee, S. & Baek, W.H. 1998. Microstructural Study Of Adiabatic Shear Bands Formed by High-Speed Impact In A Tungsten Heavy Alloy Penetrator. *Materials Science and Engineering A*. 249: 197–205
- Molinari, A., Musquar, C. & Sutter, G. 2002. Adiabatic Shear Banding In High Speed Machining of Ti–6Al–4V: Experiments and Modeling. *International Journal of Plasticity*. 18: 443–459
- Cho, K., Chi, Y.C. & Duffy, J. 1990. Microscopic Observations of Adiabatic Shear Bands In Three Different Steels. *Metallurgical Transactions A*. 21 (4): 1161-1175
- Duffy, J. 1991. Experimental Studies Of Shear Band Formation Through Temperature Measurements And High Speed Photography. *Journal de Physique III*. 1: C3-645- C3-652.
- Siradj, E.S. , Priyono, E., Mulyono, Ahyani, M. & Rakhmawati, D. 2010. Pengaruh Manufaktur Terhadap Performance Material Armour untuk Ranpur. *Laporan Akhir Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa*. Kementerian Riset dan Teknologi. Jakarta. diakses melalui <http://km.ristek.go.id/index.php/klasifikasi/detail/21505/> . diakses tanggal 12 Februari 2014.
- Djamil, S., Siradj, E.S., Andhika & Hendro, L. 2011. Sifat Balistik Komposit Matrik Logam Yang Diperkuat Serat Kawat Baja Dengan Menggunakan 2 Tipe Anyaman. *Simposium Nasional RAPI X FT UMS*: M-13 – M-18. Surakarta: FT UMS.
- Dikshit, S.N., Kutumba Rao, V.V. & Sundararajan G. 1995. The influence of plate hardness on the ballistic penetration of thick steel plates. *Int J Impact Eng*;16: 293-320.
- Mohotti, D., Ngo, T., Raman, S., N. & Mendis, P. 2015. Analytical and Numerical Investigation Of Polyurea Layered Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact. *Materials and Design*. 82: 1–17
- Flores-Johnson, E.A., Saleh, M. & Edwards, L. 2011. Ballistic Performance of Multi-Layered Metallic Plates Impacted by a 7.62 mm APM2 projectile, *International Journal of Impact Engineering*. 38 (12): 1022-1032.
- Tasdemirci, A., Tunusoglu, G. & Güden, M. 2012. The Effect of The Interlayer on The Ballistic Performance of Ceramic/Composite Armors: Experimental And Numerical Study. *International Journal of Impact Engineering*. 44: 1-9.

8 November 2017

- Roland, C.M., Fragiadakis, D., Gamache, R.M. & Casalini, R. 2013. Factors Influencing The Ballistic Impact Resistance Of Elastomer-Coated Metal Substrates. *Philosophical Magazine*. 93 (5): 468–477.
- Roland, C.M., Fragiadakis, D., Gamache R.M. 2010. Elastomer–steel laminate armor. *Composite Structures*. 92: 1059–1064.
- Wei, Z., Yunfei, D. Sheng, C.Z., Gang, W. 2012. Experimental investigation on the ballistic performance of monolithic and layered metal plates subjected to impact by blunt rigid projectiles. *International Journal of Impact Engineering*. 49: 115 – 129
- Yunfei, D., Zhang, W. & Cao, Z. 2012. Experimental investigation on the ballistic resistance of monolithic and multi-layered plates against hemispherical-nosed projectiles impact. *Materials and Design*. 41: 266–281
- Yunfei, D., Wei, Z., Yonggang, Y. & Gang, W. 2014b. The ballistic performance of metal plates subjected to impact by projectiles of different strength. *Materials and Design*. 58: 305–315
- Yunfei, D., Wei, Z., Yonggang, Y., Lizhong, S. & Gang, W. 2014a. Experimental investigation on the ballistic performance of double-layered plates subjected to impact by projectile of high strength. *International Journal of Impact Engineering*. 70: 38–49
- Mohotti, D., Ngo, T., Mendis, P. & Raman, S., N. 2013. Polyurea Coated Composite Aluminium Plates Subjected To High Velocity Projectile Impact. *Materials and Design*. 52: 1–16
- Sarlin, E., Lindroos, M., Apostol, M., Kuokkala, V.T., Vuorinen, J., Lepistö, T. & Vippola, M. 2014. The effect of test parameters on the impact resistance of a stainless steel/rubber/composite hybrid structure. *Composite Structures* 113: 469 – 475
- Liu, W., Chen, Z., Cheng, X., Wang, Y., Amankwa, A. R. & Xu, J. 2016. Design and Ballistic Penetration of The Ceramic Composite Armor. *Composites Part B*. 84: 33-40

8 November 2017

Sintesa Dan Karakterisasi Material Cermet ($Ti_{1-x}Mo_x$)C-(Ni,Cr) Melalui Pemaduan Mekanik

Suryana^{1,a)}, Azwar Manaf^{2,b)}, & Muhammad Anis^{3,c)}¹*Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.*²*Program Doktor Ilmu Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UI*³*Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.*suryana@untirt.ac.id azwar@ui.ac.id anis@ui.ac.id

Abstract.

In this paper, we report the synthesis and characterization of $(Ti_{1-x}Mo_x)C-(Ni,Cr)$ with $x = 0-0.5$ cermet obtained by mechanical alloying of Ti, Mo, Ni, Cr and C elemental powders using a planetary ball mill under wet condition for 10 hours. The process used toluene as process control agent and the ball to mass ratio was 10:1. The mechanically milled powder was then consolidated and subsequently heated at a temperature $1100^\circ C$ for 2 hours under an argon flow to prevent oxidation. The product was characterized by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope. Results shown that, by the selection of appropriate condition during the mechanical alloying process, a metastable Ti-Ni-Cr-C powders could be obtained. The powder then allowed the in situ synthesis of TiC-(Ni,Cr) cermet which took place during exposure time at a high temperature that applied in reactive sintering step. Addition to molybdenum has caused shifting the TiC XRD peaks to a slightly higher angle which indicated that molybdenum dissolved in TiC phase. The crystallite size distribution of TiC is discussed in the report, which showing that the mean size decreased with the addition of molybdenum.

1 PENDAHULUAN

Ceramic Metal Composite (Cermet) berbasis titanium karbida (TiC) merupakan material yang digunakan untuk menggantikan material konvensional tungsten karbida (WC) pada aplikasi permesinan logam yang digunakan sebagai lapisan pelindung keras untuk alat mesin pemotong pada baja dan besi cor. Titanium karbida memiliki sifat kekerasan pada temperatur tinggi, memiliki stabilitas terhadap panas dan reaksi kimia, ketahanan terhadap deformasi plastis pada temperatur tinggi dan ketahanan aus [1].

8 November 2017

Namun, salah satu kesulitan mensintesa titanium karbida adalah mereduksi melalui peleburan TiO_2 dengan karbon (C) pada temperatur 1800°C hingga 2000°C sehingga reduksi TiC membutuhkan energi yang besar dan temperatur tinggi [2]. Para peneliti telah menemukan bahwa serbuk TiC dapat disintesa pada temperatur kamar melalui pemaduan mekanik pada *high energy milling* sehingga dapat mengurangi penghematan biaya sintesa.

Pemaduan mekanik merupakan salah satu teknik sintesa yang dilakukan dalam keadaan padat (*solid-state*). Selama proses pemaduan mekanik terjadi proses penggilingan mekanik dari campuran serbuk untuk memproduksi paduan homogen menggunakan energi mekanik yang disebabkan oleh deformasi plastis tumbukan antar bola [3]. Pemaduan mekanik dapat juga digunakan untuk mensintesa larutan padat, nano partikel, paduan amorf, intermetalik dan komposit.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa *cermet* berbasis TiC memiliki kekurangan yaitu *wettability* antara fasa keramik dengan fasa logam pada saat proses sinter dalam ruang vakum dan dapat mengakibatkan densifikasi yang rendah sehingga terjadi pertumbuhan butir keramik yang tidak normal dan mengurangi sifat mekanik. Penambahan molibdenum (Mo) pada *cermet* berbasis TiC dianggap sebagai salah satu metode yang paling efektif untuk meningkatkan *wettability* yang dapat meningkatkan kepadatan pembentukan fasa larutan padat *cermet* dan meningkatkan sifat mekanik [4].

Dalam penelitian ini akan dibuat material *cermet* $(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C}-(\text{Ni},\text{Cr})$ menggunakan teknik pemaduan mekanik dan mengetahui keberhasilan teknik ini menjadi material komposit serta mengetahui pengaruh penambahan molibdenum terhadap ukuran kristalit dan regangan mikro yang ditimbulkan setelah proses sinter.

2 MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Serbuk yang digunakan adalah serbuk murni titanium (Ti), karbon (C), molibdenum (Mo), nikel (Ni) dan kromium (Cr). Campuran serbuk dirancang dengan perbandingan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)17\text{C}\}-25(\text{Ni},\text{Cr})$ dalam persen berat, perbandingan persen berat Ni dan Cr adalah 2:1, variasi penambahan komposisi molibdenum $x = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ dan $0,5$. Selanjutnya serbuk dicampur di dalam tabung kaca secara manual dan campuran serbuk di *milling* selama 10 jam. Rasio bola terhadap serbuk yang digunakan 10:1.

8 November 2017

2.2 Metode

Pemaduan mekanik dilakukan menggunakan alat *planetary ball milling* dengan kecepatan 160 rpm selama 10 jam. *Process Control Agent* (PCA) yang digunakan adalah toluena, tujuan pemberian toluene adalah untuk meminimalisasi *cold welding* di antara partikel serbuk. Serbuk hasil milling kemudian dikompaksi dengan tekanan 2000 MPa selama 5 menit. Pelet hasil kompaksi selanjutnya diberikan proses sinter pada *tube furnace* yang ditiupkan gas argon dengan temperatur 1100°C selama 2 jam.

Sampel hasil pencampuran, milling dan proses sinter selanjutnya dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (Panalytical X-ray Diffractometer Empyrean) dengan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda = 0.154$ nm). Hasil pengujian difraksi sinar-X kemudian dicocokkan menggunakan perangkat lunak Highscore Plus untuk menganalisa pola puncak difraksi yang teridentifikasi. Morfologi material cermet hasil proses sinter diamati menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, JEOL JSM 5310LV).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Hasil Difraksi Sinar-X

Pola puncak difraksi sinar-X dari serbuk hasil pencampuran (mixing) ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan gambar tersebut nampak jelas puncak-puncak untuk fasa campuran unsur-unsur yang terdiri dari Ti, Ni, dan Mo. Pengamatan lebih dekat tidak menunjukkan adanya puncak-puncak dari fasa Cr hal ini kemungkinan disebabkan tidak tercampurnya Cr selama proses pencampuran karena serbuk Cr menempel pada dinding tabung. Pengamatan fasa C juga tidak nampak karena struktur kristalnya berbentuk amorf. Gambar 2 menunjukkan pola puncak difraksi sinar-X untuk campuran serbuk yang telah melalui proses milling selama 10 jam. Dari Gambar 2. (a) nampak puncak-puncak untuk seluruh elemen penyusun seperti Ti, Ni, Cr dan Mo. Ini menunjukkan proses *milling* dengan *planetary ball mill* selama 10 jam menghasilkan pencampuran yang homogen dan pada Gambar 2 (b), (c), (d), (e) dan (f) nampak puncak-puncak mengalami perubahan intensitas dengan penambahan elemen Mo. Hal ini menunjukkan penambahan Mo meningkatkan deformasi seluruh elemen penyusun. Fasa berbasis TiC dan NiCr yang merupakan fasa-fasa yang dirancang tidak teridentifikasi pada tahap ini. Perubahan yang dapat diamati pada tahap ini adalah bahwa puncak-puncak difraksi tidak lagi tajam, tetapi mengalami pelebaran (broadening) akibat adanya penghalusan kristalit dan menimbulkan

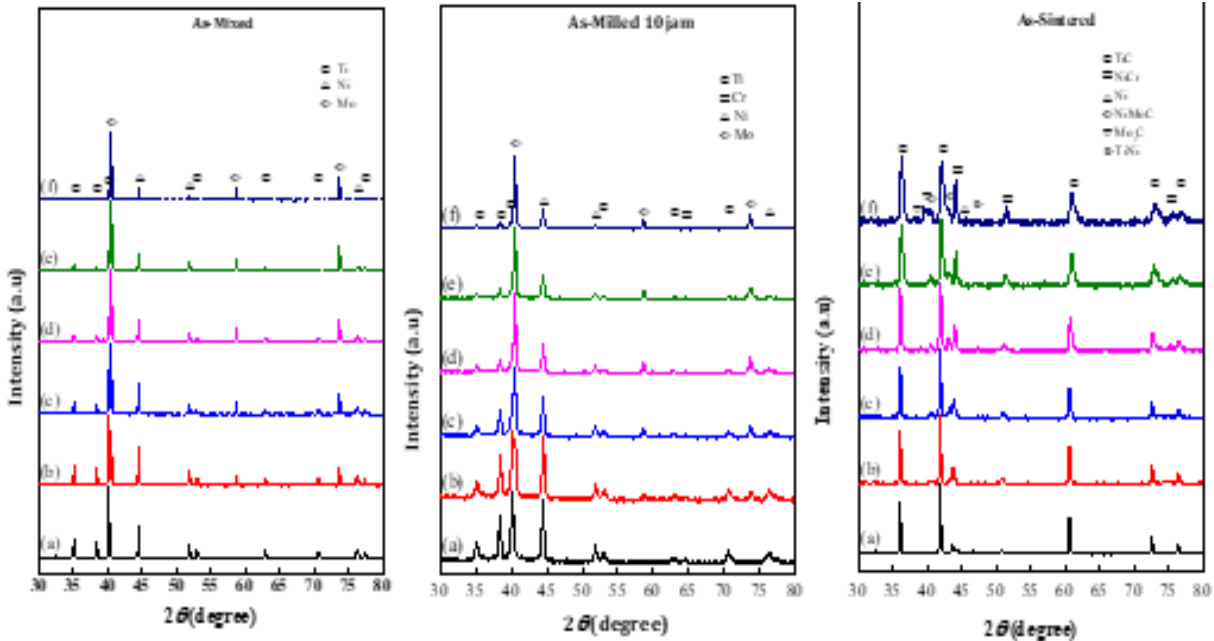
8 November 2017

terjadinya regangan mikro. Dengan demikian waktu milling selama 10 jam tidak memberikan pengaruh terhadap pembentukan fasa-fasa yang diinginkan yaitu fasa TiC dan NiCr.

Proses sintering merupakan metode untuk membuat produk dari bahan serbuk, dengan memanaskan material sehingga partikel-partikel berikatan satu sama lain menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui perpindahan massa yang biasa terjadi dalam skala atom. Pada Gambar 3 menunjukkan pola puncak difraksi sinar-X dari sampel yang diberikan proses sinter pada temperatur 1100 °C selama 2 jam. Pola difraksi berbeda dihasilkan pada sampel yang dimilling 10 jam dan diberikan perlakuan sinter pada 1100 °C selama 2 jam. Seperti terlihat pada Gambar 3, puncak-puncak pola difraksi mengidentifikasi adanya pembentukan fasa baru yang terdiri dari fasa TiC, NiCr, NiMoC, Mo₂C, TiNi dan masih tersisa Ni.

Dua fasa pertama merupakan fasa yang diharapkan terbentuk dari rancangan komposisi dari sampel yang dimilling selama 10 jam dan diberikan perlakuan proses sinter. Karenanya, tujuan dari sintesa paduan melalui pemaduan mekanik telah berhasil diperoleh, meskipun masih berupa paduan multi-fasa. Dari puncak-puncak difraksi ditunjukkan juga bahwa puncak difraksi dari dua fasa pertama (TiC dan NiCr) terlihat adanya pergeseran puncak-puncak difraksi, hal ini dipahami akibat adanya substitusi parsial dari atom Mo terhadap atom Ti dalam fasa TiC dan atom Mo terhadap atom Ni atau atom Cr dalam fasa NiCr. Sedangkan fasa-fasa lainnya merupakan fasa kedua dan jumlahnya sedikit, hal ini dapat diperkirakan dari intensitasnya yang kecil.

Puncak-puncak TiC cenderung bergeser ke arah sudut 2θ yang lebih besar, hal ini menunjukkan adanya molibdenum yang terlarut dalam TiC [5]. Karena itu, adanya fasa Mo₂C, NiMoC dapat menunjukkan adanya molibdenum sisa yang disebabkan batas kelarutan molibdenum dalam fasa TiC. Juga dicatat bahwa intensitas dari fasa Mo₂C dan NiMoC meningkat dengan penambahan kadar molibdenum, hal ini berarti bahwa semakin banyak molibdenum yang ditambahkan pada material yang dirancang komposisinya, maka semakin banyak fraksi fasa Mo₂C dan NiMoC yang terbentuk pada sampel. Intensitas fasa TiC menurun akibat pengaruh pembentukan fasa Mo₂C dan NiMoC ini. Pola difraksi pada Gambar 3 juga menunjukkan adanya penurunan intensitas fasa NiCr, yang mungkin terjadi akibat pembentukan fasa TiNi.



GAMBAR 1. Pola difraksi sinar-X campuran serbuk dengan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C-25}(\text{Ni, Cr})$: (a) $x=0$, (b) $x=0.1$, (c) $x=0.2$, (d) $x=0.3$, (e) $x=0.4$ dan (f) $x=0.5$.

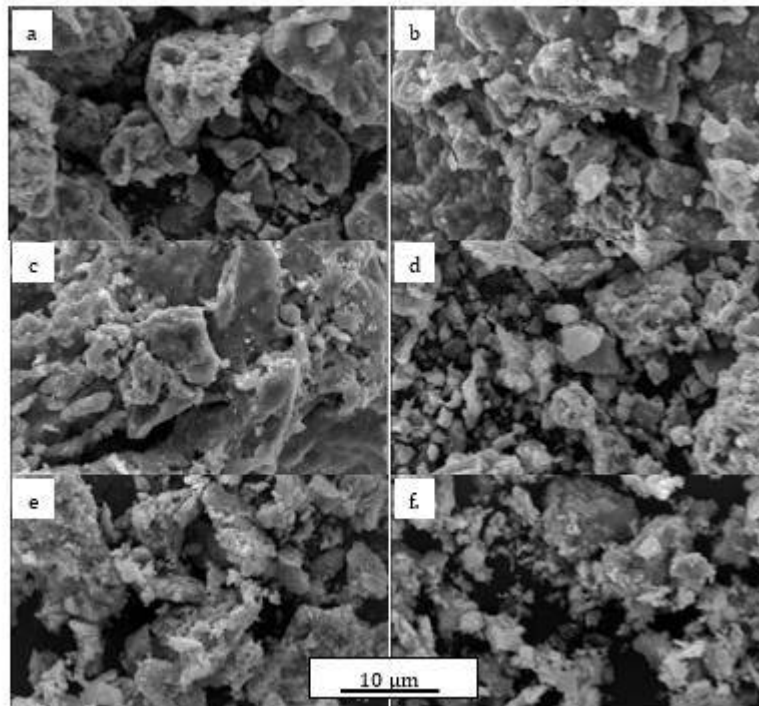
GAMBAR 2. Pola difraksi sinar-X serbuk hasil milling dengan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C-25}(\text{Ni, Cr})$: (a) $x=0$, (b) $x=0.1$, (c) $x=0.2$, (d) $x=0.3$, (e) $x=0.4$ dan (f) $x=0.5$.

GAMBAR 3. Pola difraksi sinar-X serbuk hasil proses sinter dengan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C-25}(\text{Ni, Cr})$: (a) $x=0$, (b) $x=0.1$, (c) $x=0.2$, (d) $x=0.3$, (e) $x=0.4$ dan (f) $x=0.5$.

3.2 Analisa Hasil Scanning Electron Microscopy

Pengamatan morfologi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM-5310LV, terhadap paduan serbuk $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C-25}(\text{Ni, Cr})$ hasil proses sinter pada temperatur 1100°C selama 2 jam dengan variasi $x = 0-0.5$ wt%. Diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.

8 November 2017



GAMBAR 4. Foto struktur mikro hasil SEM produk sinter (a) $x=0$, (b) $x=0.1$, (c) $x=0.2$, (d) $x=0.3$, (e) $x=0.4$ dan (f) $x=0.5$.

Pada Gambar 4 masing-masing variabel memperlihatkan butiran yang sudah saling melebur satu sama lain, membentuk agglomerasi. Morfologi serbuk berbentuk irregular (tidak beraturan) dan ukuran serbuk juga menunjukkan ketidakhomogenen. Pengamatan SEM menunjukkan bahwa ukuran partikel titanium karbida menurun dengan adanya penambahan molibdenum [6].

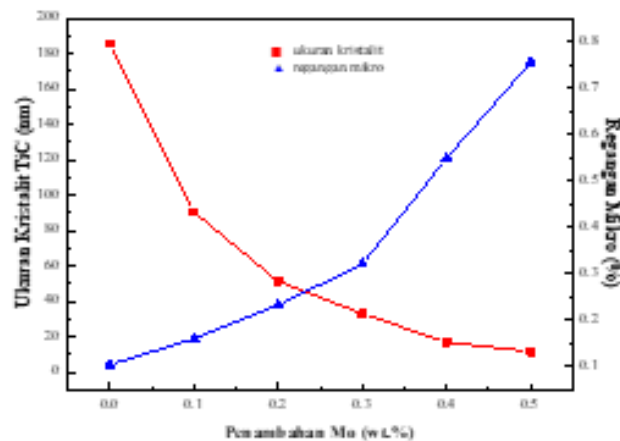
3.3 Analisa Ukuran Kristalit dan Regangan Mikro

Pergeseran dan pelebaran puncak pola difraksi sinar-X (*peak broadening*) pada sampel hasil proses sinter memberikan analisa ukuran kristalit dan regangan mikro [7]. Gambar 5 menunjukkan pengaruh penambahan molibdenum pada serbuk paduan 75 ($Ti_{1-x}Mo_x$) C-25 (Ni, Cr) hasil proses sinter terhadap ukuran kristalit dan regangan mikro fasa titanium karbida (TiC).

8 November 2017

Dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa ukuran kristalit tanpa penambahan molibdenum adalah 185,72 nm, kemudian terjadi penurunan ukuran kristalit yang signifikan setelah penambahan molibdenum 0,1 wt.% yaitu menjadi 90,42 nm. Penambahan molibdenum sebesar 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 wt.% memberikan pengaruh terhadap penurunan ukuran kristalit fasa titanium karbida masing-masing menjadi 51,4; 33,14; 16,92 dan 11,72 nm. Berdasarkan ukuran kristalit tersebut membuktikan bahwa Mo efektif sebagai inhibitor pertumbuhan butir kristalit TiC pada saat sintering.

Dari data diperoleh regangan mikro pada sampel tanpa penambahan molibdenum adalah 0,1046 %, kemudian setelah penambahan molibdenum 0,1 wt.% terjadi kenaikan regangan mikro 0,1602 % selanjutnya penambahan 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 wt.% memberikan kenaikan regangan mikro masing-masing menjadi 0,233; 0,3208; 0,5488 dan 0,7554 %. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan molibdenum puncak pola difraksi sinar-X mengalami pergeseran yang mengindikasikan bahwa unsur molibdenum mensubstitusikan Ti pada TiC.



GAMBAR 5. Kurva pengaruh penambahan molibdenum terhadap ukuran kristali dan regangan mikro produk hasil proses sinter

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa material cermet dengan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C}-25(\text{Ni},\text{Cr})$ telah berhasil disintesa melalui pemaduan mekanik menggunakan planetary ball mill selama 10 jam yang diikuti oleh proses sinter pada suhu 1100°C selama 2 jam.

8 November 2017

Material cermet yang dilakukan pada kondisi proses tersebut menghasilkan struktur mikro komposit dengan unsur molibdenum mensubstitusi fasa titanium karbida sebagai fasa utama dan fasa (Ni,Cr) sebagai fasa minor. Penambahan molibdenum pada material cermet dengan komposisi $75(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)\text{C}-25(\text{Ni,Cr})$ memberikan pengaruh menurunkan ukuran kristalit dan meningkatkan regangan mikro pada fasa titanium karbida.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Program Pasca Sarjana Ilmu Material Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia untuk fasilitas penelitian. Kami juga berterima kasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui hibah kompetitif berdasarkan program Hibah BPP-DN

REFERENSI

- [1] M. Naidoo, 2012, *Dissertation Preparation Of (Ti,Ta) (C,N) By Mechanical Alloying*, University Of The Witwatersrand, Johannesburg.
- [2] M. Viljus et al, 2012, *Structure Formation In Ti-C-Ni-Mo Composites During Reactive Sintering*. Mater. Sci. Vol.18, 1.
- [3] C. Suryanarayana, 2003, *Mechanical Alloying And Milling*, Marcel Dekker, New York.
- [4] Z. Goupeng et al, 2014, *Effect Of Mo Addition On Microstructure And Mechanical Properties Of (Ti,W)C Solid Solution Based Cermets*. Int. J. Refrac. Met. Hard Mater, Vol. 43, 77-82.
- [5] N. Liu et al, 2003, *Influence Of Molybdenum Addition On The Microstructure And Mechanical Properties Of TiC-Based Cermets With Nano-TiN Modification*, Ceramic International, Vol. 29, 919-925.
- [6] M. Jöeleht et al, 2014, *The Formation Of Reactive Sintered (Ti, Mo) C-Ni Cermet From Nanocrystalline Powders*. Int. J. Refrac. Met. Hard Mater, Vol. 43, 284-290.
- [7] Z. Guo et al, 2008, *Effect Of Mo_2C On Microstructure And Properties Of WC-TiC-Ni Cemented Carbide*. Int. J. Refrac. Met. Hard Mater, Vol. 26, 601-605.

8 November 2017

Studi Potensi Brine Water Dari Dieng Untuk Pengembangan Material Baterai LitiumEko Sulistiyono^{1,a)}, Latifa Hanum Lalasari^{1,b)}, Wahyu Mayangsari^{1,c)}, Lia Andriyah^{1,d)}, &
Agus Budi Prasetyo^{1,e)}¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material- LIPI, Kawasan PUSPIPTEK Gedung 470,a) eko221068@gmail.com b) lati003@lipi.go.id c) wahy035@lipi.go.id d) lia_hyde@yahoo.come) chencen_abp@yahoo.com**Abstract.**

Utilization lithium battery shows rapid development recently. The technology is able to produce battery with high capacity, practical and easy to recharge quickly. As application of lithium battery rise, consumption is also rise, thus lithium mineral becomes strategic materials for energy. Currently, lithium resources are obtained from brine water. Brine water comes from saline water and geothermal. Indonesia has large geothermal resources and right now it is merely used for electrical generator. In order to determine potency of brine water for lithium resources, it was studied characteristic of brine water from Dieng Plateau especially for Sikidang crater. Based on the result, ICP analysis shows that brine water from Dieng Plateau contains lithium and boron less than 0.5 ppm and 60 ppm respectively. Sludge that passed by brine water was also analyzed. The results show that it dominated by sulfur, silica, iron oxide and aluminum. It can be concluded that potency of lithium from Dieng Plateau is less.

Keywords: *Brine water, lithium, Dieng*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi telah berkembang dengan pesat, hal ditandai dengan semakin banyaknya jaringan internet dan telepon seluler yang berbasis internet. Adanya perkembangan tersebut menuntut tingkat kebutuhan material penyimpan energi yang praktis namun handal. Material energi yang paling tepat menjawab tuntutan perkembangan teknologi informasi adalah material litium^[5]. Hingga saat ini produksi litium dunia sebagian besar yaitu 70 % berasal dari brine water dan sekitar 30 % berasal dari mineral batuan^[5]. Sumber daya mineral litium yang berasal dari batuan terdapat di negara Australia, Brasil, Kanada, Tiongkok dan Amerika Serikat, sedangkan sumber daya dari brine water berada di Chile, Bolivia, Argentina, Amerika Serikat, Tiongkok dan Kanada^[5].

8 November 2017

Indonesia hingga saat ini belum memiliki cadangan mineral litium karena belum adanya usaha mencari deposit litium. Sehingga ketergantungan lithium di Indonesia cukup tinggi baik sekarang maupun di masa yang akan datang. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya menggali potensi mineral litium di Indonesia sebagai langkah awal untuk menciptakan kemandirian dalam hal penyediaan material litium. Salah satu potensi brine water yang ada di Indonesia adalah adanya lingkaran cincin api berupa barisan gunung api yang membentruk kawasan vulkanis.

Salah satu kawasan vulkanis di Indonesia adalah kawasan vulkanis Dataran Tinggi Dieng yang terletak di Propinsi Jawa Tengah. Dataran Tinggi Dieng merupakan bagian dari kawasan pegunungan Serayu Utara yang dibatasi oleh G.Slamet , G Rogojembangan dan G.Ungaran. Garis yang memisahkan kawasan ini dengan Zona Bogor adalah berada di daerah Prupuk, Bumiayu dan Aji Barang^[1]. Kawasan Dataran Tinggi Dieng terbagi dalam dua kelompok yaitu kawasan Pegunungan tepi dari Dataran Tinggi Dieng yang terbentuk dari beberapa gunung yang memiliki kawah terbuka dan bentuk stratovolcano. Kemudian Dataran Tinggi Dieng yang terletak di antara barisan Gunung Api dan kubah soliter yang telah terisi oleh material vulkanik^[3]. Dataran Tinggi Dieng memiliki memiliki struktur geologi yang dipengaruhi oleh pergerakan tektonik kuarter yang masih aktif hingga sekarang. Pergerakan tektonik kuarter ini ada dua yaitu di bagian barat ada pembentukan Ratamba disertai dengan adanya *frukturing* dan sebelah timur adanya Graben Sigadang dari gunung api Tlerep dan Butak serta Graben Watumbu dari gunung api Prah^[2]. Struktur geologi di kawasan Dataran Tinggi Dieng terdiri atas sesar, kelurusan dan kekar yang melibatkan batuan berumur kapur sampai holosen^[2].

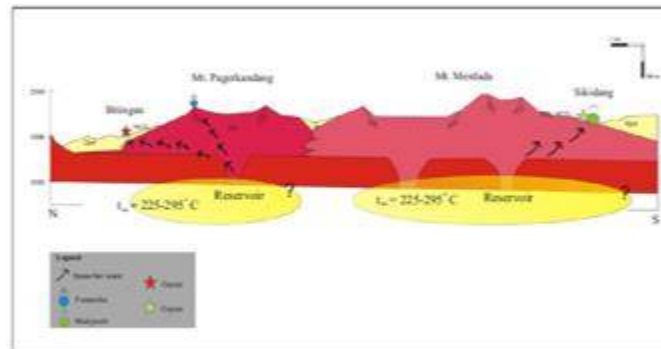
Dengan melihat Geologi kawasan Dataran Tinggi Dieng terlihat bahwa kawasan tersebut banyak terdapat sumber panas bumi yang melimpah dan munculnya kawasan sumber air panas berupa Brine Water. Sumber air panas tersebut yang muncul di permukaan bumi berupa kawah seperti kawah Sinila, Sileri dan Sikidang serta sumber air panas seperti di Bitingan. Sumber Brine Water di kawasan vulkanis pada umumnya terdapat unsur litium hal ini karena adanya unsur garam yaitu Na-K-Ca, unsur sulfat – karbonat dan segitiga Boron-Litium-Chlorida^[5]. Atas dasar untuk mencari mineral litium dari brine water maka dilakukan serangkaian penelitian pengambilan sampel brine water untuk diteliti kandungan litiumnya.

8 November 2017

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan sampel berupa cairan dari brine water dan lumpur yang berada disekitar kawah yang berlumpur. Pengambilan sampel dilakukan di dua titik yaitu brine water dari kawasan Dataran Tinggi Dieng dan brine water dari kawasan bawah Dataran Tinggi Dieng. Brine water dari dua kawasan tersebut berasal dari satu sumber reservoir panas bumi berbasis bikarbopnat yaitu Brine Water dari Bitingan, Kawah Sileri dan Kawah Sikidang. Kemudian yang kedua adalah reservoir panas bumi berbasis clorine yaitu sumber air panas Pulosari dan Sumber Air Panas Kaliputih meliputi sumber air panas Kalianget dan Tegal Sari ^[6].



GAMBAR 1. Reservoir kawasan Dataran Tinggi Dieng yang terbagi dua yaitu reservoir berbasis karbonat dan reservoir berbasis khlorida ^[6].

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel cairan Brine Water dari 7 titik yaitu dari Kawah Sileri, Kawah Sikidang, Telaga Warna, Kalianget, Bitingan dan Tegal Sari. Dari tujuh titik tersebut ada pengambilan sampel lebih dari satu titik yaitu di Bitingan ada dua titik dan di Kawah Sikidang ada dua titik dan Sileri ada tiga titik. Berdasarkan letak ketinggian sampel terbagi menjadi dua yaitu yang berada di Dataran Tinggi Dieng yaitu sampel dari Sileri, Sikidang dan Telaga Warna dan Dataran dibawah Dataran Tinggi Dieng yaitu dari Bitingan, Kalianget dan Tegal Sari. Berdasarkan sumber reservoir Brine Water terbagi dalam dua kelompok yaitu reservoir berbasis khlorida yaitu Bitingan, Sileri, Sikidang dan Telaga Warna, kemudian reservoir berbasis khlorida adalah Kalianget dan Tegal Sari.

8 November 2017

Disamping cairan brine water yang diambil, juga mengambil sampel dari lumpur yang berasal dari Kawah Sikidang yang memiliki lumpur dengan aneka warna yaitu putih, orange dan merah muda. Sampel yang berupa lumpur ini selanjutnya dianalisa menggunakan metode XRF. Tujuan dari pengambilan lumpur sebagai data pembandingan yang akan menguatkan hasil analisa mineral pada brine water.

2.2 Metode

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode analisis dengan instrumentasi ICP dan XRF dengan tahapan kegiatan sebagai berikut :

1. Pengambilan sampel di lokasi sumber brine water dengan menggunakan ember yang diikat dengan tali, kemudian sampel dimasukkan ke dalam ember yang lebih besar untuk diendapkan. Jika lokasi tersebut memiliki areal yang luas dengan banyak titik sumber air panas maka dilakukan pengambilan lebih dari satu titik.
2. Sampel dalam ember yang lebih besar kemudian diendapkan beberapa saat sampai terlihat jernih, kemudian sampel dimasukkan dalam botol kecil ukuran 100 ml. Dilakukan pengambilan sampel padatan yaitu sampel yang berasal dari padatan disekitar kawah Sikidang. Sampel padatan diambil di tiga titik yang memiliki bentuk sampel yang berbeda.
3. Setelah sampel berada di laboratorium sampel berupa filtrat disaring dengan menggunakan kertas saring whatman sampai diperoleh sampel yang benar-benar jernih. Pada sampel padatan, perlakuan pertama adalah sampel dikeringkan pada temperatur sekitar 120°C selama kurang lebih sampai 6 jam sehingga diperoleh padatan yang benar-benar kering. Selanjutnya padatan digerus sampai halus dan disaring dalam saringan berukuran 100 mesh.
4. Dilakukan proses pengenceran sampel berupa filtrat dengan menggunakan larutan asam nitrat 1 N sehingga larutan berubah menjadi asam. Dalam kondisi asam kation yang berada dalam larutan bersifat stabil dan tidak mudah mengendap.
5. Dilakukan proses pembuatan larutan standar ICP multielemen dengan cara melarutkan larutan standar dari Merk yang berupa larutan standar yang mengandung berbagai unsur dengan konsentrasi 1 g per liter atau 1.000 ppm. Dibuat larutan standar dimulai dari nol atau blanko, kemudian larutan standar hasil pengenceran dengan konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm dan 100 ppm.

8 November 2017

6. Melakukan analisis ICP pada filtrat brine water dari berbagai titik pengambilan sampel. Hasil yang terbaca dari instrumen ICP selanjutnya dikalikan dengan faktor pengenceran dan selanjutnya dianalisis komposisinya. Pada kegiatan ini analisis komposisi dilakukan terhadap kandungan unsur aluminium, boron, kalsium, besi, kalium, lithium, magnesium dan natrium.
7. Pada sampel berupa padatan dilakukan analisis XRF untuk melihat unsur apa saja yang ada dalam sampel tersebut. Data analisis XRF dijadikan sebagai bahan data tambahan dalam kegiatan ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kegiatan ini telah dilakukan analisis terhadap sampel yang diambil di sejumlah titik. Sampel berupa cairan berasal dari brine water yang berada di tujuh titik yaitu yang berada di Dataran Tinggi Dieng dan berada di sekitar Dataran Tinggi Dieng. Dari hasil analisis dengan menggunakan ICP terlihat bahwa masing-masing sampel memiliki kadar atau kandungan yang berbeda. Pada bagian ketiga dari tulisan ini dibahas hasil analisa sampel brine water dengan menggunakan metode ICP dan sampel lumpur dengan menggunakan analisis XRF. Hasil analisa tersebut juga dibandingkan dengan hasil percobaan yang dilakukan oleh pihak lain yang terlebih dahulu mengadakan kajian tentang Dataran Tinggi Dieng.

3.1 Hasil Analisis ICP pada Sampel Brine Water

Telah dilakukan analisis terhadap sampel yang diambil dari tujuh titik dengan menggunakan metode ICP dengan analisa unsur meliputi Aluminium (Al) , Boron (B) , Kalsium (Ca) , Besi (Fe) , Kalium (K) , Litium (Li) , Magnesium (Mg) dan Natrium (Na). Adapun hasil analisa disajikan sebagai berikut :

3.1.1 Sampel Brine Water Daerah Dataran Tinggi Dieng

Dari hasil pengamatan terhadap sampel yang berada di Dataran Tinggi Dieng secara umum terlihat bahwa kadar litium dalam brine water sangat rendah. Kadar litium masih jauh dibawah layak untuk diambil litiumnya. Kadar litium di dalam sampel yang diambil dari Kawah Sikidang cukup rendah yaitu antara 0,02 sampai 0,06 ppm. Hal ini berbeda dengan kawah Sileri yang memiliki kadar litium sedikit diatas kawah Sikidang yaitu berkisar antara 0,015 sampai 0,455 ppm.

8 November 2017

Berdasarkan analisa kadar natrium terlihat bahwa unsur litium mengikuti unsur natrium, dimana semakin tinggi unsur natrium maka semakin tinggi pula kadar litiumnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar di bawah :

TABLE 1. Hasil analisa ICP sampel Brine Water dari Daerah Dataran Tinggi Dieng (dalam satuan ppm)

Unsur	Sikidang I	Sikidang II	Sileri I	Sileri II	Sileri III	Sileri IV	Telaga Warna
Aluminium (Al)	0,0618	0,0186	0,0191	12,9922	38,1546	0,2731	1,2853
Boron (B)	3,2876	1,4579	1,6739	1,2726	0,0941	12,9293	0,0861
Kalsium (Ca)	42,5199	41,4298	41,1819	57,1105	21,1609	50,5115	14,9959
Besi (Fe)	0,0850	0,0146	0,0247	6,8994	16,9848	0,0120	3,3813
Kalium (K)	17,1218	32,1354	35,2580	40,4685	7,4107	12,1478	2,3017
Litium (Li)	0,0237	0,0579	0,0678	0,0214	0,0151	0,4544	0,0069
Magnesium (Mg)	20,1250	19,1234	20,1096	14,0267	21,0831	0,7386	6,0635
Natrium (Na)	52,5938	2,7610	92,7610	115,570	9,4887	1.507.28	7.6610

Berdasarkan data diatas terlihat bahwa masing-masing sumber brine water memiliki kandungan unsur yang berbeda-beda bahkan dalam satu wilayah kandungan unsur memiliki komposisi berbeda-beda. Hal ini mungkin terjadi karena brine water yang keluar dari dalam perut bumi melewati kawasan yang memiliki struktur batuan yang berbeda beda. Pada sampel brine water yang berasal dari Telaga Warna menunjukkan kadar mineral yang paling rendah hal ini karena brine water dari Telaga Warna telah bercampur dengan air yang berasal dari mata air dan air hujan yang memiliki kadar mineral yang sangat rendah. Sehingga dihasilkan Brine water yang memiliki kadar unsur paling rendah.

3.1.2 Sampel Daerah Bawah Dataran Tinggi Dieng

Berdasarkan data dari sampel yang berasal dari sumber air panas di bawah Dataran Tinggi Dieng yaitu di sumber air panas Kalianget, Bitingan dan Tegal Sari menunjukkan kadar litium yang lebih tinggi dari pada sumber air panas yang berasal dari daerah atas Dataran Tinggi Dieng. Hasil analisa ICP menunjukkan kadar litium dari 0,23 sampai 0,46 ppm. Kadar litium yang agak tinggi terjadi pada sampel dari sumber brine water Bitingan dengan kadar 0,46 – 0,48 ppm. Berdasarkan analisis dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Y Ramadan dkk menunjukkan bahwa sumber brine water dari bawah dataran Tinggi Dieng dan dari atas Dataran Tinggi Dieng berasal dari satu sumber reservoir yang sama ^[6]. Meskipun secara geologi berasal dari sumber reservoir panas bumi yang sama namun hasil analisa unsur menunjukkan hasil yang berbeda.

8 November 2017

Dari membandingkan hasil analisa ICP terlihat bahwa sampel dari atas Dataran Tinggi Dieng memiliki kadar unsur aluminium dan litium lebih rendah dari sampel yang berasal dari brine water dibawah Dataran Tinggi Dieng. Hal ini dimungkinkan karena brine water dari bawah Dataran Tinggi Dieng melewati struktur batuan yang berbeda akibat dari peristiwa geologi yang kompleks di kawasan tersebut. Adapun hasil analisa ICP dapat dilihat dari gambar dibawah sebagai berikut:

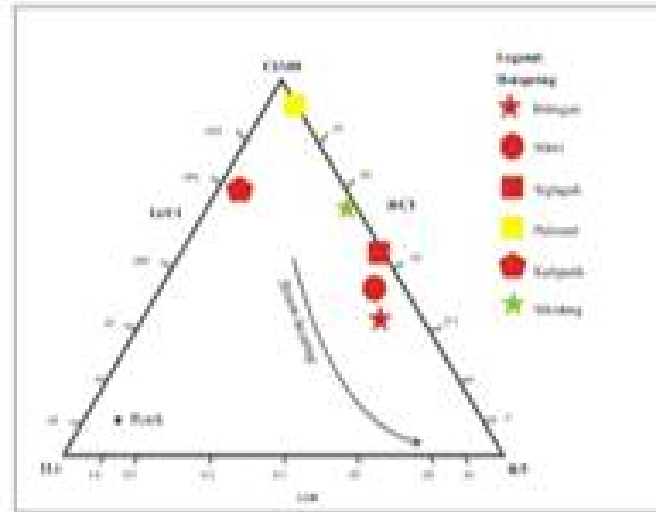
TABLE 2. Hasil analisa ICP sampel Brine Water dari daerah yang berada di bawah Dataran Tinggi Dieng (dalam satuan ppm)

Unsur	Kaliangget	Bitingan I	Bitingan II	Tegal Sari
Aluminium (Al)	25,7336	0,2266	0,2176	0,0512
Boron (B)	65,3707	13,1715	13,4680	3,5596
Kalsium (Ca)	12,8914	50,3495	50,2257	56,5703
Besi (Fe)	3,4558	0,0174	0,0214	0,0213
Kalium (K)	4,6022	12,4122	13,2147	49,6352
Litium (Li)	0,3945	0,4639	0,4828	0,2364
Magnesium (Mg)	10,0102	0,6993	0,8041	117,892
Natrium (Na)	6,1473	1.484,37	1.536,87	198,01

3.1.3 Hasil Analisis Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil penelitian dari Y. Ramadhan dkk menunjukkan bahwa brine water dari Dataran Tinggi Dieng mengandung litium tapi ada kecenderungan kadar litium sangat rendah. Hal ini dapat dilihat dari diagram segitiga Cl-Li-B menunjukkan adanya kecenderungan arah brine water dalam diagram segitiga Cl-Li-B berada pada atas sebelah kanan menunjukkan kadar litium sangat rendah dan kadar Chlorida lebih tinggi. Brine water dari sumber air panas Bitingan, Sileri dan Sikidang berada pada zona garis B/Cl yang memiliki tingkat temperatur cukup tinggi dan kadar litium rendah. Sementara itu brine water yang berasal dari Kaliputih berada pada garis Li/Cl dengan kadar litium sedikit lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa ada kesamaan dalam pemanasan uap yang memiliki perbandingan Li / Cl kurang dari 0,001 dan B / Cl antara 0,05 dan 0,1. Sumber air yang keluar kemudian keluar sebagai air panas Sikidang yang memiliki perbandingan B / Cl kurang dari 0,03^[6].

8 November 2017



GAMBAR 2. Diagram segi tiga Cl- Li – B dari Brine Water kasawan dieng hasil penelitian sebelumnya^[6] .

3.2 Hasil Analisis XRF pada Sampel Lumpur Kawah Sikidang

Dari hasil analisa pada sampel lumpur dari Kawah Sikidang yang diambil dari sampel yang berwarna putih, merah muda dan berwarna orange menunjukkan komposisi yang berbeda-beda. Dari hasil analisa XRF terlihat bahwa sampel yang berwarna putih memiliki kadar sulfur yang cukup tinggi yaitu pada kadar 60,98 % berat dengan basis perhitungan SO_3 . Pada sampel berupa lumpur warna merah muda didominasi oleh sampel silika dengan kadar SiO_2 84,67 % , kemudian disusul dengan titanium dengan kadar TiO_2 sebesar 5,03% dan besi dengan kadar Fe_2O_3 sebesar 2,06 %. Pada sampel lumpur warna orange merupakan sampel yang lebih majemuk dengan kadar yang berimbang dimana silika memiliki kadar SiO_2 sebesar 35 %, besi dengan kadar Fe_2O_3 sebesar 27,35 % dan natrium dengan kadar Na_2O sebesar 9,95 % .

Dengan melihat ketiga sampel lumpur menunjukkan kawasan sekitar kawah sileri terdapat beragam kandungan mineral dimana terdapat tiga jenis mineral yaitu mineral belerang untuk lumpur putih, kuarsa untuk lumpur warna merah muda dan sampel kompleks ikatan besi dan silika untuk sampel orange. Pada sampel lumpur warna orange terindikasi adanya senyawa unsur Na_2O sebesar 9,95 % , namun kadar klorida (Cl) sebesar 0,85 dan sulfur (SO_3) sebesar 3,76 % menunjukkan unsur natrium berikatan dengan silika dan alumina membentuk senyawa kompleks.

8 November 2017

Berdasarkan literatur ikatan senyawa kompleks tersebut $(\text{Na,Li})\text{AlSi}_2\text{O}_6$ kemudian berikatan dengan besi, kalsium, magnesium dan titanium ^[6]. Berdasarkan literatur di negara Peru terdapat senyawa seperti ini dengan kadar SiO_2 sekitar 70-73 %, Al_2O_3 sekitar 6-17 %, Fe_2O_3 sebesar 1-2 %, Na_2O sekitar 3-4 % dan Li_2O sekitar 0,8 % ^[4].

TABLE 3. Hasil analisa XRF terhadap lumpur yang berasal dari Kawah Sikidang dalam satuan % berat

nsur	Lumpur Putih	Lumpur Merah Muda	Lumpur Orange
Silika (SiO_2)	34,37	84,67	35,21
Sulfur (SO_3)	60,98	3,85	3,76
Alumina (Al_2O_3)	0,74	1,30	14,14
Besi (Fe_2O_3)	0,25	2,06	27,35
Titanium (TiO_2)	1,61	5,03	2,51
Natrium (Na_2O)	nd	nd	9,95
Phospor (P_2O_5)	1,11	1,44	1,41
Chlorida (Cl)	0,63	1,02	0,85
Magnesium (MgO)	nd	nd	2,39
Kalsium (CaO)	nd	nd	0,69

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap sampel brine water dari Dataran Tinggi Dieng menunjukkan bahwa brine water dari Dataranm Tinggi Dieng baik barada di daerah atas maupun bawah belum dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan baku litium untuk material energi. Hal ini karena rendahnya kadar litium dalam brine water yaitu kurang dari 1 ppm. Hasil analisis pada lumpur yang berasal dari Kawah Sikidang menunjukkan bahwa lumpur terdiri dari silika dan sulfur dari aktifitas vulkanis disekitar Kawah Sikidang. Ada dugaan yang perlu pembuktian lebih lanjut adanya keberadaan senyawa natrium dalam lumpur berwarna orange menunjukkan adanya ikatan kompleks alkali dengan silika dan alumina. Alkali yang terdapat dalam lumpur ada kemungkinan berupa litium dan natrium, dimana litium tidak terdeteksi oleh analisa XRF.

ACKNOWLEDGMENTS

Bersama tulisan ini kami sebagai penulis mengucapkan terima kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang memfasilitasi kegiatan penelitian dan program InSinus Kementerian Riset Dikti yang membantu pendanaan pada kegiatan ini.

8 November 2017

REFERENSI

- Bemmelen, Van R.W. *The Geology Of Indonesia*, Martinus Nyhoff, The Haque, Nederland (1949).
- Condon.W.H, Pardiyanto L, Ketner K.R. Amin T.C, Gafoer S. , Samodra H. Geological Map Of Banjarnegara and Pekalongan Quadrangles, Central Java, Geological Research and Development Centre, Bandung (1996).
- Pardiyanto L . The Geology of Dieng Area Central Java, A Report Based Mainly on Photo-Interpretation and Literature Study, *Vulcanology Report* (1970).
- Peter A.Jezek and Daniel E.Apleman . Virgilite : a New Lithium Aluminium Silicate Mineral From the Macusani Glass, Peru. *American Mineralogist* , Volume 63, (1978) page : 461-465.
- Steve H.Mohr, Gavin M.Mudd and Damien Gierco. *Lithium Resources and Production* : Critical Assessment and Global Projections. *Journal Minerals*, Publised 19 March 2012, ISSN 2075-163 X.
- Y.Ramadhan, K Channer, and N.R. Hedianita. Hotwater Geochemistry for Intepretating The Condition of Geothermal Reservoir, Dieng Plateau Case, Banjarnegara-Wonosobo Regency, Central Java, *Indonesian Journal of Geology*, Vol 8. No.2 June 2013 : 89-96

**Pengaruh Suhu Quenching Dan suhu Tempering Terhadap ketahanan Korosi Baja
Martensitik Modifikasi 410-3Mo3Ni Untuk Aplikasi Sudu Turbin Uap**

Efendi Maburri^{a)}, Arini Nikitasari^{b)}, Moch. Syaiful Anwar^{c)}, & Toni B. Romijarso^{d)},

Bintang Adjiantoro^{e)}

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material-LIPI

^{a)}effe004@lipi.go.id ^{b)}arini_nikitasari@yahoo.com ^{c)}moch026@lipi.go.id ^{d)}toni001@lipi.go.id

^{e)}rade005@lipi.go.id

Abstract

Baja tahan karat martensitik 410-3Mo3Ni merupakan pengembangan dari baja AISI 410 untuk aplikasi turbin uap. Pada tulisan ini dilaporkan pengaruh suhu quenching dan suhu tempering terhadap ketahanan korosi baja 410-3Mo3Ni. Baja disiapkan dengan peleburan induksi yang dilanjutkan dengan proses tempa suhu tinggi pada 1200°C dan perlakuan panas dengan suhu quenching 1000-1100°C dan suhu tempering 600-700°C. Pengujian korosi dilakukan dengan Pengukuran polarisasi siklik menggunakan *Corrosion Measurement System* Gamry G750. Hasil percobaan menunjukkan bahwa potensial korosi merata (E_{corr}) meningkat dengan naiknya suhu quenching dan meningkat dengan naiknya suhu tempering. Potensial korosi sumuran (E_{pit}) meningkat dengan naiknya suhu quenching, tetapi menurun dengan naiknya suhu tempering. Sedangkan rapat arus korosi (I_{corr}) menurun dengan naiknya suhu tempering dan mencapai maksimum pada suhu quenching 1050°C. Perlakuan panas dengan suhu quenching 1100°C dan suhu tempering 600°C menghasilkan ketahanan korosi yang paling baik dengan E_{pit} 54,09 mV, E_{corr} -420,2 mV dan I_{corr} 7×10^{-8} A/cm². Hasil-hasil ini dikorelasikan dengan fasa-fasa yang terbentuk di dalam baja yang diidentifikasi dengan XRD.

1 PENDAHULUAN

Kegagalan sudu sering ditemukan dalam penggunaannya karena interaksi mekanik dan lingkungan yang beroperasi dalam sistem turbin, terutama pada sudu tahap terakhir dari tekanan rendah (LP) di mana kondensat mulai terbentuk. Pada beberapa kasus, seringkali korosi sumuran (*pitting*) merupakan awal terjadinya kerusakan yang berkembang menjadi penjaralan retak korosi tegang (*stress corrosion cracking/SCC*) atau fatik korosi (*corrosion fatigue*) yang berakhir pada kegagalan sudu turbin [1-3].

8 November 2017

Peningkatan ketahanan terhadap korosi sumuran dapat dianggap sebagai salah satu solusi utama kegagalan sudu turbin. Oleh karenanya pengembangan baja tahan karat martensitik AISI 403/410 sebagai material sudu turbin uap terus dilakukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran, retak korosi tegang dan fatik korosi [4-7]. Baja modifikasi 410-3Mo3Ni sedang dikembangkan dengan basis baja AISI 410 yang memiliki ketahanan korosi sumuran yang lebih baik [8-11].

Dalam aplikasinya baja martensitik harus mengalami perlakuan panas sebelumnya untuk mendapatkan kombinasi sifat mekanik dan ketahanan korosi yang diinginkan. Baja martensitik digunakan di dalam aplikasinya dalam keadaan *quenched dan tempered* dengan struktur mikro martensit temper, austenite sisa dan karbida. Pemilihan suhu quenching dan suhu tempering dalam proses perlakuan panas merupakan faktor yang penting untuk mengontrol sifat-sifat baja martensitik. Perlu diperhatikan, bahwa untuk penggunaan sebagai sudu turbin uap, baja martensitik harus dilakukan tempering pada suhu yang lebih tinggi dari suhu turbin uap agar tidak terjadi perubahan struktur mikro yang signifikan. Berdasarkan pertimbangan di atas, pada baja modifikasi 410-3Mo3Ni perlu dilakukan optimasi proses perlakuan panas untuk mendapatkan kombinasi sifat-sifat material yang diinginkan dan sebagian hasil penelitian sudah dilaporkan pada publikasi sebelumnya [8,9]. Pada tulisan ini dilaporkan pengaruh suhu *quenching* dan suhu *tempering* terhadap ketahanan korosi baja martensitik modifikasi tersebut di dalam larutan 3,5% NaCl.

2 MATERIAL DAN METODE

Ingot baja modifikasi 410-3Mo3Ni dengan ukuran 5 x 5 x 20 cm diproduksi dengan tungku peleburan induksi dengan komposisi sesuai disain. Kemudian ingot baja dipotong menjadi dua bagian masing-masing berukuran 5x5x10 cm dan dilakukan penempaan panas pada suhu awal 1200°C berkali-kali sampai menghasilkan balok ukuran sekitar 12,5 x 10 x 2 cm. Setelah penempaan billet baja dipotong-potong untuk membuat sampel uji komposisi kimia, uji korosi dan uji XRD. Potongan sampel baja kemudian dilakukan perlakuan panas quenching dan tempering. Quenching dilakukan pada suhu bervariasi yaitu 1000, 1050 dan 1100°C di dalam media oli setelah sebelumnya dipanaskan pada suhu tersebut selama 1 jam di dalam tungku mafel.

8 November 2017

Tempering dilakukan dengan memanaskan sampel pada suhu bervariasi 600, 650 dan 700°C selama 1 jam dan didinginkan di udara terbuka. Uji komposisi kimia dilakukan dengan alat OES (*Optical Emission Spectrometer*) dan hasilnya disajikan pada Tabel 1. Uji korosi dilakukan dengan pengukuran polarisasi siklik menggunakan *Corrosion Measurement System* Gamry G750 di dalam larutan 3,5% NaCl. Uji XRD dilakukan pada tegangan 40 kV dengan material anoda Cu-K α . Pada keempat baja dalam kondisi temper dilakukan analisa struktur mikro, uji tarik dan uji potensiodinamik.

TABEL 1. Komposisi kimia baja martensitik modifikasi 410-3Mo3Ni (% berat).

Baja	C	S	P	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe
410-3Ni3Mo	0.10	0.005	0.02	0.61	0.24	12.73	2.52	2.93	Bal.

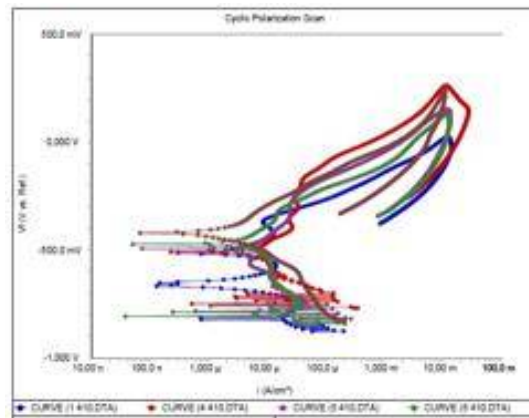
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

GAMBAR 1 menunjukkan kurva polarisasi siklik baja pada beberapa kondisi perlakuan panas. Kurva menunjukkan belokan dari daerah pasif yang merupakan indikasi pecahnya film pasif pada saat mencapai potensial pada belokan tersebut (potensial *pitting*/Epit). Setelah belokan, kurva menunjukkan peningkatan rapat arus akibat pecahnya film pasif tersebut, kemudian setelah mencapai nilai arus tertentu kurva bebalik kembali ke arah penurunan arus yang menunjukkan terbentuknya kembali lapisan pasif. Akan tetapi pada semua kurva tersebut grafik terputus dan tidak bertemu/memotong kurva awal, yang menunjukkan repasifikasi tidak sempurna dan masih menyisakan kondisi korosi sumuran. Potensial korosi merata, potensial korosi sumuran dan rapat arus korosi yang ditentukan dari kurva-kurva tersebut ditampilkan pada GAMBAR 2 sampai GAMBAR 5. Dari GAMBAR 2 dapat dilihat bahwa potensial korosi sumuran (Epit) semakin meningkat dengan naiknya suhu quenching dari 1000-1100°C pada suhu tempering yang sama 600°C. Begitu pula potensial korosi merata (Ecorr) memiliki kecenderungan yang sama terhadap suhu quenching, meningkat dengan naiknya suhu quenching. Sedangkan rapat arus korosi (Icorr) meningkat dari suhu quenching 1000 ke 1050°C dan menurun kembali pada suhu quenching 1100°C.

8 November 2017

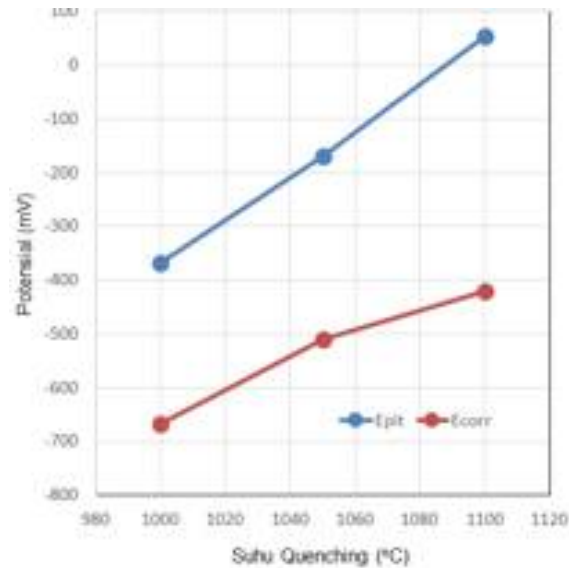
Rapat arus korosi berbanding lurus dengan laju korosi, semakin besar rapat arus korosi semakin tinggi laju korosi.

Pengaruh suhu tempering terhadap potensial dan rapat arus korosi ditunjukkan masing-masing oleh GAMBAR 4 dan 5. GAMBAR 4 menunjukkan potensial korosi sumuran yang menurun dengan meningkatnya suhu tempering dari 600 ke 700°C pada suhu quenching yang sama 1050°C. Untuk potensial korosi merata, peningkatan suhu tempering menyebabkan sedikit peningkatan. Sedangkan dari GAMBAR 5 dapat dilihat bahwa rapat arus korosi menurun dengan naiknya suhu tempering. Potensial korosi sumuran yang paling tinggi (54,09 mV) dan rapat arus korosi yang paling rendah ($7 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$) ditunjukkan oleh baja dengan suhu quenching 1100°C dan suhu tempering 600°C yang menunjukkan ketahanan korosi sumuran dan korosi merata baja modifikasi 410-3Mo3Ni paling tinggi dicapai pada kondisi perlakuan panas tersebut.



GAMBAR 1. Kurva polarisasi siklik baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu quenching dan suhu tempering

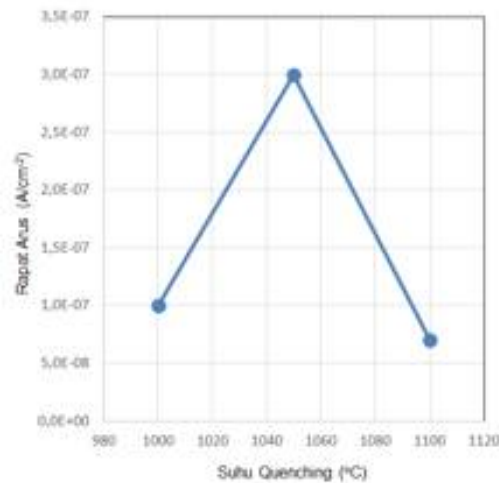
8 November 2017



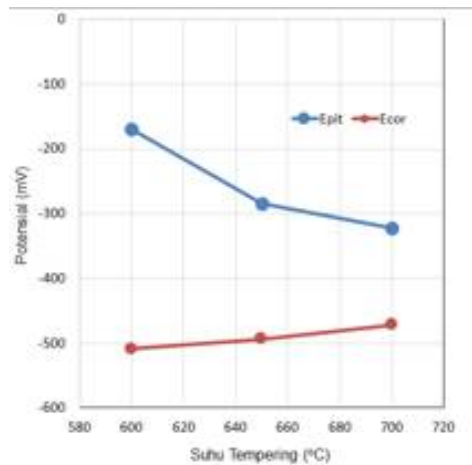
GAMBAR 2. Potensial korosi merata (E_{corr}) (dan korosi sumuran (E_{pit}) baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu quenching.

GAMBAR 6 memperlihatkan pola difraksi sinar X (XRD) baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu quenching dan tempering. Intensitas puncak α yang dalam hal ini merupakan fasa martensit terlihat dominan pada suhu quenching 1000°C. Intensitas puncak α (martensit) mulai berkurang dengan meningkatnya suhu quenching pada suhu tempering yang sama 600°C dengan munculnya puncak γ yang merupakan fasa austenit sisa. Pada suhu quenching 1100°C fasa γ (austenit sisa) mendominasi struktur mikro baja. Peningkatan fasa austenit sisa ini pada suhu austenisasi yang tinggi berkaitan tingkat kelarutan karbida yang makin tinggi pada saat proses austenisasi suhu tinggi dan menurunkan suhu pembentukan martensit sehingga menyisakan fasa austenit. Sedangkan pengaruh suhu tempering dapat dilihat pada sampel dengan suhu quenching yang sama 1050°C yang menunjukkan adanya perubahan fasa dominan dari γ pada suhu tempering 600°C menjadi fasa α pada suhu tempering 700°C. Perubahan fasa ini berkaitan dengan terdekomposisinya fasa γ (reversed austenite) menjadi α dan karbida pada suhu tempering yang tinggi.

8 November 2017



GAMBAR 3. Rapat arus korosi (I_{corr}) baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu quenching.

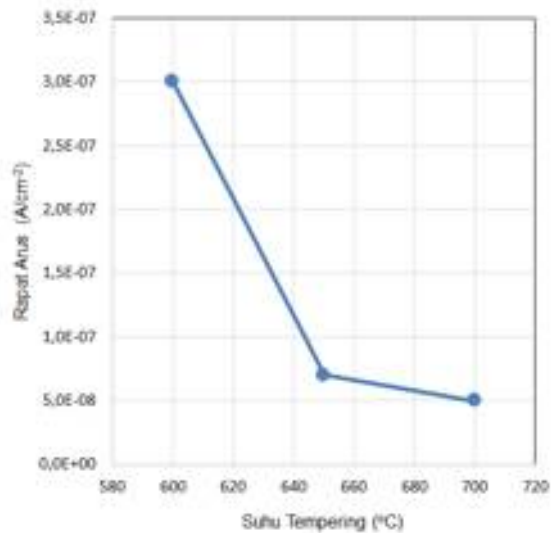


GAMBAR 4. Potensial korosi merata (E_{cor}) dan korosi sumuran (E_{pit}) baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu tempering.

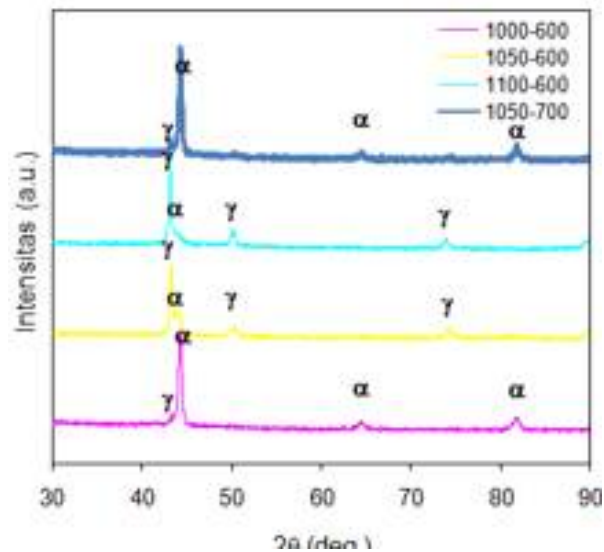
Fasa-fasa yang terbentuk pada struktur mikro baja ini dapat dikorelasikan dengan sifat ketahanan korosi yang dipaparkan pada dua paragraf awal. Peningkatan ketahanan korosi sumuran baja (peningkatan Epit) dengan meningkatnya suhu quenching dapat dianggap sebagai kontribusi meningkatnya kandungan fasa γ di dalam baja, karena sudah diketahui bahwa ketahanan korosi sumuran fasa γ lebih baik dibandingkan dengan fasa α . Sebaliknya penurunan Epit dengan meningkatnya suhu tempering dapat dikaitkan dengan meningkatnya kandungan α di dalam baja.

8 November 2017

Baja yang mengalami perlakuan panas pada suhu quenching 1100°C dan suhu tempering 600°C yang memiliki fasa dominan γ menunjukkan ketahanan korosi yang paling baik seperti telah disebutkan pada paragraf sebelumnya.



GAMBAR 5. Rapat arus korosi (I_{corr}) baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu tempering



GAMBAR 6. Pola difraksi XRD baja modifikasi 410-3Mo3Ni pada berbagai suhu quenching dan suhu tempering

8 November 2017

4 KESIMPULAN

Penelitian pengaruh suhu *quenching* dan suhu *tempering* terhadap ketahanan korosi baja martensitik modifikasi 410-3Mo3Ni di dalam larutan 3,5% NaCl telah dilakukan. Potensial korosi sumuran dan potensial korosi merata memiliki kecenderungan yang sama, semakin meningkat dengan naiknya suhu *quenching* dari 1000-1100°C pada suhu *tempering* yang sama 600°C. Terhadap naiknya suhu *tempering* dari 600 ke 700°C pada suhu *quenching* yang sama 1050°C, potensial korosi sumuran menurun, sedangkan potensial korosi merata menunjukkan sedikit peningkatan. Rapat arus korosi meningkat dari suhu *quenching* 1000 ke 1050°C dan menurun kembali pada suhu *quenching* 1100°C. Sedangkan terhadap naiknya suhu *tempering* bahwa rapat arus korosi menurun. Baja yang mengalami perlakuan panas pada suhu *quenching* 1100°C dan suhu *tempering* 600°C yang menunjukkan ketahanan korosi yang paling baik memiliki fasa dominan γ disamping adanya fasa α berdasarkan identifikasi dengan XRD.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendukung finansial penelitian ini melalui Program Unggulan LIPI tahun 2016.

8 November 2017

REFERENSI

1. A.C. Cuevas, JA.Rodriguez, CM.Clemente, J.M.Rodríguez, Y.Mariaca: American Journal of Mechanical Engineering, 2014, Vol. 2, No. 6, 164-168.
2. B.M. Schönbauer, S.E. Stanzl-Tschegg, A.Perlega, R.N. Salzman, N.F. Rieger, S.Zhou, A.Turnbull, D. Gandy: International Journal of Fatigue 65 (2014) 33–43.
3. M. El Maya, T. Palin-Luca,, N.Saintiera,, O.Devos : International Journal of Fatigue 47 (2013) 330–339.
4. I. Calliari , M. Zanesco, M. Dabala, K. Brunelli, E. Ramous, *Investigation of microstructure and properties of a Ni-Mo martensitic stainless steel*, Mater. Des. 29 (2008) 246-250.
5. E.Mabruri, Z.A.Syahlan, Sahlan, M.S.Anwar, T.B. Romijarso, B.Adjiantoro, *Effect of tempering temperature on hardness and impact resistance of the 4101Mo martensitic stainless steels for steam turbine blades*, Int. J. Eng.Technol. 8 (6) (2017) 2547-2551.
6. E.Mabruri, Z.A.Syahlan, Sahlan, M.S.Anwar, S.A. Chandra, T.B. Romijarso, B.Adjiantoro, *Influence of austenitizing heat treatment on the properties of the tempered type 410-1Mo stainless steel*, IOP Conf. Series: Mat. Sci. Eng. 202 (2017) (012085)1-7.
7. E.Mabruri, M.S.Anwar, S.Prifiharni, T.B. Romijarso, B.Adjiantoro, *Tensile properties of the modified 13Cr martensitic stainless steels*, AIP Conf. Proc. 1725 (2016) (020039)1-5.
8. M.S.Anwar, S.Prifiharni and E.Mabruri, *Optimizing Heat Treatment Process of Fe-13Cr-3Mo-3Ni Martensitic Stainless of Steel*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering **202** (2017) 012037.
9. E.Mabruri, S.Prifiharni, M.S.Anwar, T.B. Romijarso, and B.Adjiantoro, *Mechanical Properties Optimization of The Modified 410 Martensitic Stainless Steel by Heat Treatment Process*, Key Eng. Mater. (2017)(Accepted).
10. M.S.Anwar, T.B.Romijarso, E.Mabruri, *The Alloying Effect of Molybdenum and Nickel on The Corrosion of 13 Cr Martensitic Stainless Steel in Chloride Media*, Int. J. Elect.Chem.Sci. 12 (2017).
11. S.Prifiharni, H.Perdana, T.B. Romijarso#3, B.Adjiantoro#4, A.Juniarsih, E.Mabruri, *The Hardness and Microstructure of The Modified 13Cr Steam Turbine Blade Steel in Tempered Conditions*, Int. J. Eng.Technol. 8 (6) (2017) 2672-2675.

8 November 2017

Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Korosi Sumuran Baja Tahan Karat Austenitik Fe25Ni15Cr

Moch. Syaiful Anwar^{1,a)}, BerliMulya², SoesaptriOediyani², & EfendiMabruri^{1,b)}

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Kawasan PUSPIPTEK Gd.470, Tangerang Selatan.

²Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jenderal Sudirman Km 03 Cilegon.

a) moch026@lipi.go.id b) effe004@lipi.go.id

Abstract.

Austenitic stainless steels have been used for boiler components in ultra-critical steam power plants because it have high temperature resistance, high strength and good corrosion resistance. This study reported the effect of heat treatment on pitting corrosion of stainless steels Fe25Ni15Cr in the chloride solution. The steel samples were prepared by process of induction melting, hot forging and hot rolling. Then, steel samples were heat treated of solution treatment and aging. Cyclic polarization test was used to observe pitting corrosion resistance of Fe25Ni15Cr in the chloride solution. The result Fe25Ni15Cr stainless steel is generally susceptible to pitting corrosion will occur in the steel when only undergo solution treatment. Susceptibility to pitting corrosion is mostly not occur if the stainless steel Fe25Ni15Cr undergo heat treatment process of solution treatment and aging.

Keywords: Austenitic stainless steel, Fe25Ni15Cr, solution treatment, aging, pitting corrosion.

1. PENDAHULUAN

Untuk mencapai efisiensi energi yang tinggi dan emisi gas CO₂ yang rendah, suhu uap maksimum dan tekanan uap yang dihasilkan oleh pembangkit listrik harus ditingkatkan. Uap yang dihasilkan merupakan hasil dari pembakaran batubara didalam boiler. Umumnya, tingkat efisiensi pembakaran batubara didalam boiler sekitar 42% pada kondisi superkritis (supercritical) dimana pembangkit dapat beroperasi pada tekanan uap 250 bar dan suhu uap sekitar 600-615 °C. Pada kondisi ultra-superkritis (ultra-supercritical) tingkat efisiensi pembakaran batubara dapat ditingkatkan menjadi sekitar 42-46% dimana tekanan uap 300 bar dan suhu uap sekitar 620°C dapat dicapai.

8 November 2017

Efisiensi dapat ditingkatkan lagi sampai lebih besar dari 50% pada kondisi advanced ultra superkritis (advanced ultra-supercritical) sehingga pembangkit dapat beroperasi pada tekanan uap sampai 350 bar dan suhu uap sekitar 700-760 °C serta dapat menurunkan emisi gas CO₂ sekitar 45% jika dibandingkan dengan kondisi superkritis. Akan tetapi, dalam prakteknya, untuk mencapai kondisi advanced ultra-supercritical membutuhkan usaha yang lebih dikarenakan keterbatasan ketahanan logam boiler terhadap tekanan dan suhu uap yang tinggi serta korosi suhu tinggi [1,2].

Baja tahan karat austenitic merupakan baja yang tepat untuk aplikasi komponen super heater atau reheater yang membutuhkan tekanan dan suhu uap yang tinggi pada boiler. Baja ini tidak dapat dikeraskan melalui proses pendinginan cepat seperti pada baja tahan karat martensitik, namun dapat dikeraskan melalui proses aging sehingga muncul prisipitat didalam matriks austenit. Baja tahan karat NF 709 (20Cr25Ni), 18Cr8Ni, dan HR3C telah diaplikasikan untuk komponen superheater dan reheater karena memiliki ketahanan terhadap creep, oksidasi dan korosi suhu tinggi [3,4]. Namun, biaya pembuatan baja tahan karat tersebut relative sangat mahal dikarenakan menggunakan Ni sekitar 25% (%berat) dan Cr sekitar 20% (%berat). Oleh karenanya, telah dibuat baja tahan karat austenitik Fe25Ni15Cr dimana ferronikel yang digunakan berasal dari bahan baku lokal yang mengandung 25%Ni (%berat). Meskipun penelitian sebelumnya fokus terhadap ketahanan creep dan korosi suhu tinggi, pada penelitian ini masih fokus pada sifat ketahanan korosi sumuran. Hal ini disebabkan karena korosi sumuran merupakan titik awal terjadinya kegagalan dan akan menyebabkan retak dan patah pada logam boiler.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja tahan karat Fe25Ni15Cr. Komposisi kimiabaja tahan karat tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi baja tahan karat pada penelitian ini (%berat)

Unsur	C	Ni	Cr	Mo	W	V	Cu	Si	Fe
(%berat)	0.01	27.26	19.58	1.38	0.001	0.2	0.5	0.3	Bal.

8 November 2017

2.2 Metode

Baja tahan karat Fe25Ni15Cr dibuat dengan cara peleburan didalam tungku induksi sehingga logam menjadi cair. Logam cair dicor kedalam cetakan pasir dan dikeluarkan dari cetakan pasir saat logam cair sudah membeku menjadi ingot baja. Ingot baja kemudian diproses tempadan roling panas pada suhu sekitar 1125°C. Setelah itu, sampel baja diproses perlakuan panas solution treatment pada suhu 925, 975 dan 1025 °C selama 2 jam dan kemudian didinginkan cepat didalam air. Baja hasil solution treatment dilakukan proses aging pada suhu 675, 725 dan 775 °C selama 15 jam dan kemudian didinginkan di udara.

Setelah proses perlakuan panas selesai, sampel baja dibuat dengan luas permukaan 1x1cm² untuk uji cyclic polarisasi. Susunan sirkuit uji cyclic polarisasi sebagaiberikut benda uji sebagai elektroda kerja, platina sebagai elektroda lawan dan SCE(*saturated colomel electrode*) sebagaielektroda referensi. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji direndam di larutan 3.5% NaCl selama 1 jam. Setelah itu, *cyclic polarisation* dilakukan pada rangepotensial antara -200 mV sampai +1500mV dari OCP pada laju pembacaan maju 5mV/s dan laju pembacaan mundur 2,5mV/s. Setelah mencapai nilai potensial+1500 mV, polarisasi mundur dilakukan untuk menemukan potensial *pitting* (*E_{pit}*) dan potensial proteksi (*E_{prot}*). Alat *Gamry Instruments* Seri G750 digunakan untuk uji cyclic polarisasi tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

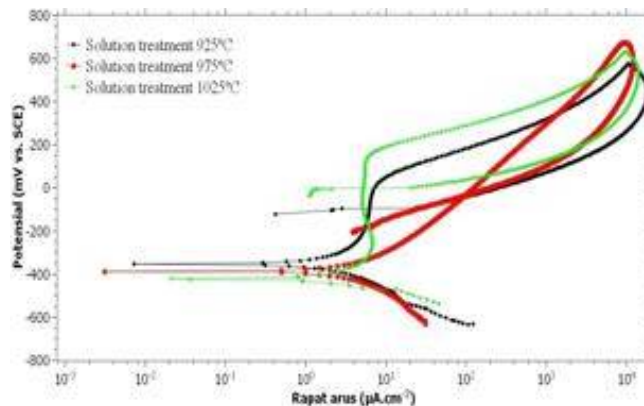
3.1.1 Pengaruh suhu solution treatment terhadap korosi sumuran

Gambar 1 menunjukkan cyclic polarisasi baja Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5% NCl pada variasi suhu solution treatment. Pada suhu solution treatment 925 dan 1025 °C potensial pitting (*E_{pit}*) baja Fe25Ni15Cr lebih tinggi dari potensial proteksinya (*E_{prot}*) sehingga pada suhu tersebut baja mempunyai kerentanan terhadap terjadinya korosi sumuran.

Meskipun begitu, baja Fe25Ni15Cr pada suhu solution treatment 1025°C mempunyai keadaan pasif lebih lama daripada baja dengan suhu solution treatment lainnya. Sedangkan suhu solution treatment 975°C, baja Fe25Ni15Cr mengalami keadaan aktif sampai pada potensial 676°C, tidak menunjukkan adanya potensial pitting (*E_{pit}*) dan hanya menunjukkan potensial proteksi (*E_{prot}*). Hal ini mengindikasikan bahwa baja Fe25Ni15Cr pada suhu solution treatment 975°C tidak memiliki kerentanan terhadap korosi sumuran. Nilai potensial proteksi (*E_{prot}*) baja Fe25Ni15Cr semakin besar (semakin positif) dengan bertambahnya suhu solution treatment.

8 November 2017

Hal ini mengindikasikan bahwa baja tahan karat Fe25Ni15Cr dapat kembali dalam keadaan pasif semakin cepat dengan kenaikan suhu solution treatment. Nilai potensial korosi (E_{corr}) baja tahan karat Fe25Ni15Cr semakin kecil (semakin negatif) dengan bertambahnya suhu solution treatment. Sedangkan nilai rapat arus korosi (i_{corr}) terbesar ditemukan pada baja dengan suhu solution treatment 975°C. Nilai masing-masing potensial korosi (E_{corr}), rapat arus korosi (i_{corr}), potensial pitting (E_{pit}) dan potensial proteksi (E_{prot}) disajikan pada Tabel 1.



GAMBAR 1. Cyclic polarisasi baja tahan karat Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5%NaCl pada variasi suhu solution treatment

TABLE 1. Parameter-parameter korosi dari kurva cyclic polarisasi baja Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5%NaCl pada variasi suhu solution treatment

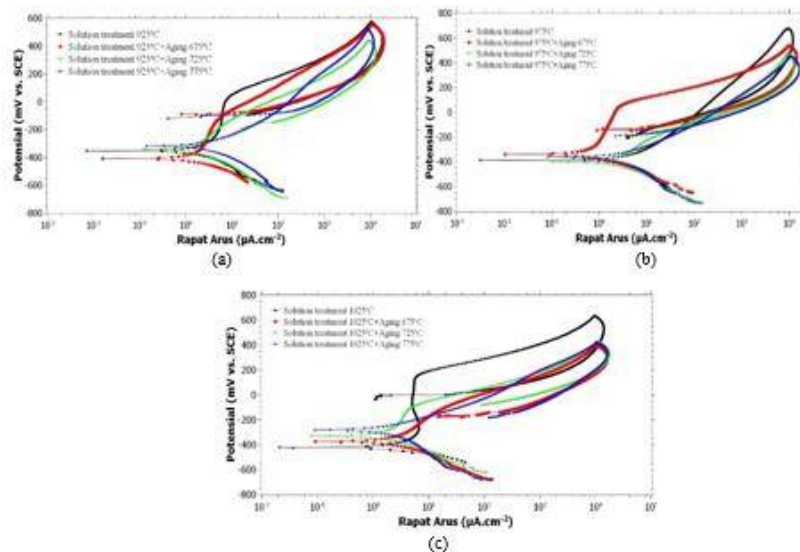
	E_{corr} (mV vs SCE)	i_{corr} ($\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$)	E_{pit} (mV vs SCE)	E_{prot} (mV vs SCE)
Sol.treat. 925°C	-350	4,46	33	-96,06
Sol.treat. 975°C	-380	7,57	-	-33,72
Sol.treat. 1025°C	-466	5,22	151	-2,084

3.1.2 Pengaruh suhu aging terhadap korosi sumuran

Gambar 2(a)-(c) menunjukkan cyclic polarisasi baja Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5% NCl pada variasi suhu solution treatment dan aging. Proses aging yang dilakukan setelah solution treatment pada baja Fe25Ni15Cr menyebabkan baja mengalami keadaan aktif atau tidak mengalami keadaan pasif jika dibandingkan dengan baja yang dilakukan proses solution treatment saja. Hal ini mengindikasikan bahwa baja tahan karat Fe25Ni15Cr setelah mengalami proses solution treatment dan aging tidak memiliki kerentanan terhadap korosi sumuran.

8 November 2017

Kecuali hanya baja Fe25Ni15Cr solution treatment 975°C dan aging 675°C yang mempunyai keadaan pasif dan kerentanan terhadap korosi sumuran. Perbedaan nilai potensial korosi (E_{corr}) baja tahan karat Fe25Ni15Cr antara yang hanya dilakukan proses solution treatment dengan yang dilakukan proses solution treatment dan aging tidak begitu signifikan. Kecuali baja dengan solution treatment 1025°C, dengan bertambahnya suhu aging nilai potensial korosi (E_{corr}) semakin tinggi atau semakin positif dan nilai rapat arus korosi (i_{corr}) semakin rendah dengan bertambahnya suhu aging.



GAMBAR 2. Cyclic polarisasi baja tahan karat Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5%NaCl pada variasi suhu solution treatment dan aging

TABEL 2. Parameter-parameter korosi dari kurva cyclic polarisasi baja Fe25Ni15Cr didalam larutan 3,5%NaCl pada variasi suhu solution treatment dan aging

	E_{corr} (mV vs. SCE)	i_{corr} ($\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$)	E_{pit} (mV vs. SCE)	E_{prot} (mV vs. SCE)
S 925	-350	4.46	33	-96.06
S 925 + A 675	-408	2.65	-	-83.38
S 925 + A 725	-343	2.77	-	-184.7
S 925 + A 775	-318	3.22	-	-82.1
S 975	-380	7.57	-	-33.72
S 975 + A 675	-340	0.97	67.78	-133.7
S 975 + A 725	-401	4.22	-	-128.7
S 975 + A 775	-356	2.41	-	-107.7
S 1025	-466	5.22	151	-2.084
S 1025 + A 675	-370	3.8	-	-176
S 1025 + A 725	-330	3.28	-	-82.16
S 1025 + A 775	-280	2.7	-	-181.8

Note: S: Solution treatment
A: Aging

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kerentanan terhadap korosi sumuran akan ada apabila nilai potensial piting (E_{pit}) lebih nobel atau lebih besar daripada nilai potensial proteksi (E_{prot}). Pada saat baja tahan karat Fe₂₅Ni₁₅Cr hanya dilakukan solution treatment umumnya kerentanan terhadap korosi sumuran akan terjadi pada baja tersebut. Kerentanan terhadap korosi sumuran umumnya tidak terjadi jika baja tahan karat Fe₂₅Ni₁₅Cr mengalami proses perlakuan panas solution treatment dan aging.

ACKNOWLEDGMENTS

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada LIPI yang telah membiayai penelitian ini melalui skema pendanaan Kegiatan Unggulan LIPI tahun anggaran 2017

REFERENSI

Augusto Di Gianfrancesco, *Materials for Ultra-Supercritical and Advanced Ultra-Supercritical Power Plants* (Woodhead Publishing, Duxford, 2016), pp. 6-8.

R.Blum, R.W.Vanstone and C.Messelier-Gouze, Proc.4th Int. Conf. on Adv. in Mater. Technol. for Fossil Power Plant, 116(2004)

Jujing He, R. Sandstrom, S. Vujic, 21st European Conference on Fracture, ECF21, 871-878 (2016)

T.Ishitsuka, H. Morimoto, K. Nagashima, J. Okamoto, H. Mimura, M. Matsumoto, M. Mizumoto, Nippon Steel Technical Report No. 90 July 2004, 104-108.

8 November 2017

Studi Pengaruh Laju Pemanasan Pada Proses Kalsinasi Terhadap Kemurnian Silika Dari Sekam Padi

Ahmad Maksu^{1,2, a)}, Hamdi², Sulaksana Permana¹, Muhammad Azka Fariky¹, Panggih Dwi Raharjo¹, & Johny Wahyuadi Soedarsono^{1, b)}

¹Center of Minerals Processing and Corrosion Research, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

²Department of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425, Indonesia

^{a)}jwsono@metal.ui.ac.id ^{b)}ahmad.maksum@mesin.pnj.ac.id

Abstract.

Rice is the main commodity of agriculture sector in Indonesia. The amount of rice production per year causes the resulting husk waste is also large. Although much effort has been made to utilize this husk, it is still less than optimal, so the husk is still a problem that will disrupt the environment if not resolved soon. In this research, husk is used as high purity silica product which has high economic value with calcination method. Rice husks are cleaned from sand and dirt by washing, then leach in solution of 1 M HCl solution for 3 hours to remove alkali metals especially potassium, and roasting at 650°C for 4 hours with varying heating rate 3, 5, and 7°C/min up to 650°C and held for 4 hours. The obtaining silica was characterized using XRD to determine the phase formed and XRF to determine the composition of the impurities elements. The highest purity of amorphous silica was obtained in the sample with a heating rate of 5° C/min, ie 99.17%.

1 PENDAHULUAN

Padi merupakan tanaman pokok dan salah satu komoditas utama sektor pertanian di Indonesia. Penggilingan padi menghasilkan 72% beras, 5-8% dedak, dan 20-22% sekam[1]. Sekam padi yang didapat dari hasil penggilingan padi dinilai sebagai limbah yang berlimpah khususnya di negara agraris seperti Indonesia. Limbah sekam ini tidak saja mengganggu lingkungan sekitarnya tetapi lebih jauh lagi bisa mengganggu kesehatan manusia. Meskipun demikian, sekam padi ini merupakan salah satu sumber silika terbarukan yang jumlahnya sangat besar, dimana kandungan silikanya mencapai 15-20% dari berat sekam [2].

8 November 2017

Pada lapisan terluar dari sekam padi terkonsentrasi silika dengan tingkat porositas yang tinggi, sehingga bobotnya ringan, luas permukaan eksternalnya besar, dan sangat cocok digunakan sebagai adsorben dan isolator [3].

Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 –30 % lignin, dan 15–20 % silika[4]. Pengembangan dari sekam padi saat ini adalah sebagai bahan baku untuk menghasilkan silika yang dikenal sebagai RHS (*rice husk silica*). Riveros dan Garza[5] menyimpulkan bahwa pelindian dengan 3% HCl diiringi dengann reflux akan menghasilkan silika dengan kemurnian yang tinggi (99,98%). Lalu Banerjee dkk[6] mengatakan bahwa sekam padi dibakar di suhu 400°C untuk mendapatkan RHA, kemudian dilindi dengan HCl berkonsentrasi tertentu selama 2 jam. Amick[7] melakukan pelindian di larutan mendidih 1:3 HCl:H₂O selama 2 jam dan diikuti selama 20 menit di larutan 1:1 HCl:H₂O. Kemudian sekam dikeringkan dan dipyrolysis dengan gas yang mengandung 1% HCl anhidrat dalam argon untuk menghilangkan pengotor lebih banyak lagi. Chandrasekhar dkk[8-9] mengatakan bahwa untuk menghasilkan silika amorf dengan kemurnian yang tinggi dari sekam padi, pemanasan atau pelindian harus dilakukan. Zat kimia yang terlibat antara lain: HCl, H₂SO₄, HNO₃, NaOH, NH₄OH, dan lainnya. Mishra dkk [10] menyatakan bahwa pelindian sekam padi dengan HCl (1N) akan menghilangkan beberapa dari komposisi logam di dalamnya. Muhammad Ali dkk[11] menyimpulkan bahwa apabila sekam padi dilindi dengan asam (5-6 N H₂SO₄) maka akan menghasilkan oksidasi sebagian dari karbohidrat (organic matters). Pemanasan yang cepat akan mengakibatkan degradasi termal dengann 50% weight loss. Namun setelah itu, laju degradasi akan menurun karena bahan organik di dalamnya telah terdekomposisi.

Salas dkk[12] menganalisis abu sekam padi yang dihasilkan dengan dan atau perlakuan kimia sebelumnya kemudian dilakukan perlakuan pemanggangan. Sampel abu sekam padi dianalisis warna, konten silika amorfnya, distribusi ukuran partikel, dan luas areanya. Proses pembakaran dilakukan secara terkontrol dalam furnace dengan laju temperaturnya 10°C/min. hingga temperaturnya mencapai 600°C. Sampel dilindi dengan HCl 1 N selama 24 jam kemudian dicuci dengan air distilasi hingga bebas dari asam. Dengan perbedaan waktu pelindian dan laju temperatur pemanggangan, kadar silika yang didapat kenaikannya tidak signifikan, bahkan di bawah dari kadar yang didapat pada penelitian ini.

8 November 2017

Pada penelitian yang dilakukan Salas, dkk dengan laju pemanggangan $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan periode pelindian 24 jam kadar Al yang didapat adalah 0,46%.

Della dkk[13] melakukan penelitian dengan menggunakan sekam padi dari Fumacense, SC, Brazil dengan tujuan untuk mengolah dan karakterisasi silika dengan luas permukaan spesifik tinggi atau biasa disebut dengan silika aktif. Sekam padi yang didapat adalah sudah dalam bentuk abu. Abu sekam padi yang didapat ini kemudian akan langsung diberi perlakuan termal pada beberapa temperatur maksimal yaitu 400, 500, 600, dan 700°C sekaligus ditahan selama 1, 3, dan 6 jam dengan laju temperatur pemanggangan $10\text{C}/\text{min}$. dan sampel mengalami proses pendinginan di dalam furnace. Adapun perbandingan komposisi kimia abu sekam padi sebelum dan sesudah perlakuan termal, terlihat pada Tabel 1.

TABLE 1. Komposisi kimia abu sekam padi sebelum dan sesudah pemanggangan hingga 700°C dan ditahan selama 6 jam [13].

Unsur	Sebelum (% berat)	Sesudah (% berat)
Si	72,1	94,95
Al	0,30	0,39
Fe	0,15	0,26
Ca	0,43	0,54
Na	0,50	0,25
K	0,72	0,94
Mn	0,15	0,16
Ti	0,05	0,02
Mg	0,70	0,90
P	0,06	0,74
Si	72,1	94,95
Al	0,30	0,39
Fe	0,15	0,26
Ca	0,43	0,54

Tabel 1 menunjukkan adanya peningkatan kadar silica dan pengotor-pengotor logamnya setelah mengalami proses kalsinasi. Hal ini mengindikasikan bahwa perlunya proses pelindian untuk mereduksi pengotor-pengotor ini. Karena menurut Bose dkk [14] dan Banerjee dkk [6] suasana asam dinilai cocok untuk mereduksi atau bahkan menghilangkan pengotor-pengotor yang ada pada sekam padi dan meningkatkan kemurnian dari silika. Namun demikian, dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan termal sanggup untuk mengurai senyawa hidrokarbon pada abu sekam padi. Dan, agar struktur Kristal silica yang terbentuk adalah amorf, maka suhu kalsinasi tidak boleh melebihi 700°C , karena di atas temperatur tersebut struktur silica akan bertransformasi menjadi kristalin [15].

8 November 2017

Dari beberapa penelitian di atas pada tahun-tahun sebelumnya, dapat kita ketahui bahwa penggunaan HCl pada proses leaching sekam padi dinilai dapat menghilangkan ion-ion logam yang tidak diinginkan sehingga hanya akan menyisakan silika dengan kemurnian yang tinggi. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini akan dilakukan ekstraksi silika dari sekam padi yang telah dilindi selama 3 jam dengan variabel laju pemansan 3, 5, dan 7°C/menit.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Persiapan sampel sekam

Sekam padi dicuci dengan air distilasi, kemudian dikeringkan dengan panas matahari, digiling dan diayak untuk mendapatkan ukuran 60 mesh. Serbuk sekam sebanyak 250g dilindi dengan menggunakan 5 liter larutan HCl 1M selama 3 jam, kemudian dicuci 3 kali dengan air distilasi dan dikeringkan di dalam muffle furnace pada suhu 100°C selama 3 jam.

2.2 Proses kalsinasi

Sampel sekam sebanyak 50 gram dimasukkan ke dalam crucible dan dipanaskan di dalam muffle furnace pada suhu 650°C selama 4 jam, dengan variasi laju pemanasan 3, 5, dan 7°C/menit. Setelah dingin, sampel dikeluarkan untuk diuji komposisi dan fasa yang terbentuk dengan menggunakan XRF dan XRD.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil XRF

Hasil pengujian XRF atas sampel awal, setelah pelindian, maupun sampel setelah kalsinasi disajikan dalam Tabel 2. Dari Tabel 2 tersebut terlihat kenaikan kadar silica pada sampel sekam padi sesudah mengalami pelindian, yaitu dari 88,868%, naik menjadi 96,064%.

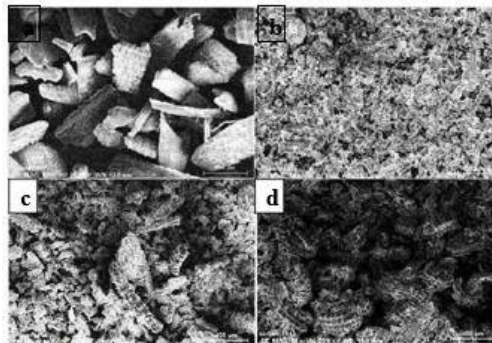
8 November 2017

TABLE 2. Komposisi kadar oksida-oksida pengotor pada sampel awal, setelah pelindian, dan setelah kalsinasi pada suhu 650°C selama 4 jam, dengan variasi laju pemanasan 3, 5, dan 7°C/menit..

Unsur	Sebelum (% berat)	Sesudah (% berat)
Si	72,1	94,95
Al	0,30	0,39
Fe	0,15	0,26
Ca	0,43	0,54
Na	0,50	0,25
K	0,72	0,94
Mn	0,15	0,16
Ti	0,05	0,02
Mg	0,70	0,90
P	0,06	0,74
Si	72,1	94,95
Al	0,30	0,39
Fe	0,15	0,26
Ca	0,43	0,54

Hal ini semakin menguatkan dugaan bahwa proses pelindian akan meningkatkan kadar silica, dimana hasil yang sama juga diperoleh oleh peneliti-peneliti sebelumnya[10]. Disamping itu, kadar silica pada sampel setelah mengalami proses kalsinasi juga mengalami kenaikan drastis, dimana kadarnya bisa mencapai 99,238% bila laju kenaikan temperaturnya 3°C/menit. Peningkatan kadar silica yang signifikan ini diduga karena hilangnya oksida-oksida logam pengotor sebelum proses kalsinasi. Dengan hilangnya oksida pengotor seperti potassium oksida, maka proses melting dini silica dapat dihindari. Hal ini diperkuat dari hasil penelitian Della dkk [13] yang menghasilkan silica dengan kadar lebih rendah, yaitu 94,95%, dimana tidak dilakukan pelindian sebelum sekam dikalsinasi. Selain itu, semakin lama waktu pelindian juga akan semakin meningkatkan kemurnian silica yang dihasilkan [16-17].

3.2 Foto Mikrostruktur



GAMBAR 1. Kondisi mikrostruktur sekam padi: (a) sebelum kalsinasi, (b) setelah kalsinasi dengan laju pemanasan 7°C/min, (c) setelah kalsinasi dengan laju pemanasan 5°C/min, (d) setelah kalsinasi dengan laju pemanasan 3°C/min.

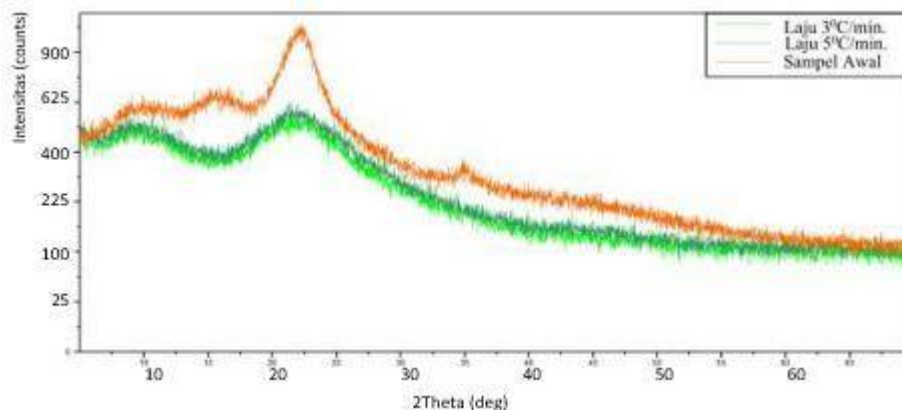
8 November 2017

Pada Gambar 1 terlihat perbedaan yang mencolok antara sampel sekam padi sebelum dan sesudah mengalami kalsinasi. Pada kondisi awal, sekam padi berbentuk seperti jagung karena ikatan alami yang terbentuk pada Si pada sekam padi adalah kompleks dan berikatan pula dengan senyawa organik, seperti karbohidrat salah satunya[18]. Mikrostruktur yang didapat serupa dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Chandrasekhar dkk[8]. Proses kalsinasi sekam padi menyebabkan senyawa organik terdekomposisi dan akan memutus ikatan dengan Si. Dengan semakin cepatnya laju pemanasan akan menyebabkan semakin halus ukuran abu sekam yang didapat. Hal ini diduga karena adanya thermal shock yang menyebabkan microcracking pada abu sekam yang terbentuk.

3.3 Data XRD

Kurva XRD sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 menunjukkan pola difraksi dari SiO_2 dimana terlihat puncak amorf dengan sudut Bragg setara dengan $2\theta = 22^\circ$. Hasil ini senada dengan pola yang diperoleh Zhang dkk atas sekam yang dikalsinasi sampai temperature 800°C . Sementara itu, pola XRD pada sampel awal terlihat puncak-puncak lain yang bukan merupakan puncak dari SiO_2 , yaitu pada sudut $2\theta = 16^\circ$ dan 35° . Hal itu menunjukkan bahwa pada sampel awal masih terdapat oksida pengotor lain, sebagaimana terdeteksi pada pengujian XRF (Tabel 2).

Adanya oksida pengotor lain, terutama potassium, diduga menyebabkan hasil akhir silica yang kemurniannya masih di bawah penelitian sebelumnya dimana dilakukan quenching setelah proses kalsinasi sehingga hasil yang didapatkan bisa mencapai 99,928% [20].



GAMBAR 2. Kurva XRD untuk sampel awal dan sampel setelah kalsinasi dengan laju pemanasan 3 dan $5^\circ\text{C}/\text{menit}$.

8 November 2017

4 KESIMPULAN

Pengaruh dari laju pemanasan pada proses kalsinasi sekam telah diteliti dan berhasil mendapatkan silica amorf dengan kemurnian mencapai 99,238%. Kemurnian silika yang paling tinggi diperoleh melalui proses kalsinasi sekam padi yang telah dilindi sebelumnya dengan 1M HCl selama 3 jam, dimana suhu kalsinasinya adalah 650°C, laju pemanasan 3°C/menit, dan waktu penahanan 4 jam. Selain itu, juga didapatkan kecenderungan meningkatnya kemurnian silika seiring dengan perlambatan laju pemanasan kalsinasi.

ACKNOWLEDGMENTS

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Mas Agus Budi Prasetyo (Research Centre for Metallurgy, Indonesian Institute of Sciences - LIPI, Indonesia) atas bantuannya. Selain itu, penulis juga menyampaikan terima kasih atas dukungan finansial dari Kemenristek Dikti melalui skema hibah dosen pemula dengan nomor kontrak 033/SP2H/LT/DRPM/2017.

8 November 2017

REFERENSI

1. C. Prasad, K. . Maiti, and R. Venugopal, "Effect of rice husk ash in whiteware compositions," *Ceram. Int.*, vol. 27, no. 6, pp. 629–635, 2001.
2. 27, no. 6, pp. 629–635, 2001.
3. A. M. Daifullah, B. S. Girgis, and H. M. H. Gad, "Utilization of agro-residues (rice husk) in small waste water treatment plans," *Mater. Lett.*, vol. 57, no. 11, pp. 1723–1731, 2003.
4. B. S. Luh, *Rice*. 1991.
5. S. Ismail and a M. Waliuddin, "Effect of rice husk ash on high strength concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 10, no. I, pp. 521–526, 1996.
6. H. Riveros and C. Garza, "Rice husks as a source of high purity silica," *J. Cryst. Growth*, vol. 75, no. 1, pp. 126–131, 1986.
7. H. D. Banerjee, S. Sen, and H. N. Acharya, "Investigations on the production of silicon from rice husks by the magnesium method," *Mater. Sci. Eng.*, vol. 52, no. 2, pp. 173–179, 1982.
8. L. P. Hunt, J. P. Dismukes, and J. a Amick, "Rice hulls as a raw material for producing silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 131, no. 7, pp. 5–8, 1982.
9. *Electrochem. Soc.*, vol. 131, no. 7, pp. 5–8, 1982.
10. S. Chandrasekhar, K. G. Satyanarayana, P. N. Pramada, P. Raghavan, and T. N. Gupta, "Review Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview," *J. Mater. Sci.*, vol. 38, no. 15, pp. 3159–3168, 2003.
11. N. Yalçın and V. Sevinç, "Studies on silica obtained from rice husk," *Ceram. Int.*, vol. 27, no. 2, pp. 219–224, 2001.
12. P. Mishra, a. Chakraverty, and H. D. Banerjee, "Production and purification of silicon by calcium reduction of rice-husk white ash," *J. Mater. Sci.*, vol. 20, no. 12, pp. 4387–4391, 1985.
13. M. Ali, E. Ul Haq, M. R. Abdul Karim, S. Ahmed, A. Ibrahim, W. Ahmad, and W. M. Baig, "Effect of leaching with 5–6N H₂SO₄ on thermal kinetics of rice husk during pure silica recovery," *J. Adv. Res.*, pp. 4–8, 2015.

14. A. Salas, S. Delvasto, R. M. de Gutierrez, and D. Lange, "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 39, no. 9, pp. 773–778, 2009.
15. V. P. Della, I. Kühn, and D. Hotza, "Rice husk ash as an alternate source for active silica production," *Mater. Lett.*, vol. 57, no. 4, pp. 818–821, 2002.
16. D. N. Bose, P. A. Govindacharyulu, and H. D. Banerjee, "Large grain polycrystalline silicon from rice husk," *Sol. Energy Mater.*, vol. 7, pp. 319–321, 1982.
17. M. Patel, A. Karera, and P. Prasanna, "Effect of thermal and chemical treatments on carbon and silica contents in rice husk," *J. Mater. Sci.*, vol. 22, no. 7, pp. 2457–2464, 1987.
18. N. Liu, K. Huo, M. T. McDowell, J. Zhao, and Y. Cui, "Rice husks as a sustainable source of nanostructured silicon for high performance Li-ion battery anodes.," *Sci. Rep.*, vol. 3, p. 1919, 2013.
19. P. Kumar and E. P. Ayswarya, "Synthesis, characterization and application of rice husk nanosilica," *Natural rubber*, vol. 2, no. 5, pp. 1027–1035, 2013.
20. R. D. Pehlke, *Unit Processes of Extractive Metallurgy*. Elsevier Science Ltd, 1973.
21. H. Zhang, X. Ding, X. Chen, Y. Ma, Z. Wang, and X. Zhao, "A new method of utilizing rice husk: consecutively preparing D-xylose, organosolv lignin, ethanol and amorphous superfine silica.," *J. Hazard. Mater.*, vol. 291, pp. 65–73, 2015.
22. A. Maksum, A. Rustandi, S. Permana, J. W. Soedarsono, A. Maksum, A. Rustandi, S. Permana, and W. Soedarsono, "Influence of Roasting-Quenching Pretreatment on the Rice Husk Silica Prepared by Calcination Method," in *International Conference on Chemistry, Chemical Process and Engineering (IC3PE)*, 2017, vol. 1823, p. 020009_1-020009_8.

Analisis Distorsi Pada Baja Aisi 4140 Berbentuk *C-Ring*, *O-Ring* Dan *Disc* Setelah Mengalami Proses Perlakuan Panas

Rusnaldy^{1,a)}, & Hidayat Nur Arkhamtito¹

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang.

^{a)}rusnaldy@undip.ac.id

Abstrak

Pada makalah ini akan dibahas pengaruh proses perlakuan panas *hardening* pada baja AISI 4140 yang telah dibentuk menjadi bentuk *o-ring*, *c-ring* dan *disc* terhadap besarnya distorsi yang terjadi. Proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan benda kerja di dalam tungku perlakuan panas hingga temperatur 845°C, ditahan pada temperatur tersebut selama 1 jam dan kemudian dilakukan celup cepat hingga temperatur kamar dengan menggunakan media celup air dan oli mesran SAE 20W. Benda kerja sebelum dan sebelum proses perlakuan panas diukur dimensinya (tebal, lebar dan diameter), kerataan permukaannya dan kebulatannya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa baik media celup air dan oli sama-sama menyebabkan terjadinya distorsi pada semua bentuk benda kerja. Distorsi yang terjadi pada benda kerja yang dicelup ke dalam air lebih besar dibanding dengan distorsi yang terjadi pada benda kerja yang dicelup ke dalam oli. Distorsi terbesar terjadi pada benda kerja berbentuk *c-ring*.

Kata-kata kunci: Proses perlakuan panas, distorsi, baja AISI 4140, media celup, *c-ring*, *o-ring* dan *disc*

1. PENDAHULUAN

Proses perlakuan panas banyak digunakan untuk memperbaiki sifat komponen-komponen yang terbuat dari baja, terutama sifat mekaniknya. Umumnya dalam proses perlakuan panas terdapat tahapan proses *quenching* atau celup cepat yang dapat mengakibatkan terjadinya distorsi geometri yang tidak diinginkan, yang tentu saja mengakibatkan turunnya produktivitas serta menambah biaya produksi.

Beberapa contoh penelitian yang menunjukkan terjadinya distorsi pada komponen dari baja setelah mengalami beberapa proses perlakuan panas antara lain seperti pada ring [1 & 2], *disk* untuk rod gigi [3], cetakan (*die*) [4], komponen *gear box* [5], bola [6] dan rod gigi [7].

8 November 2017

Beberapa upaya dilakukan untuk mengurangi distorsi yang terjadi pada baja yang mengalami proses perlakuan panas terutama yang mengalami proses pendinginan cepat dengan menggunakan media celup tertentu seperti air dan oli. Penentuan kapan proses perlakuan panas itu dilakukandi dalam serangkaian tahapan proses manufaktur juga perlu pertimbangan khusus mengingat distorsi yang akan dialami akan menambah proses tambahan di tahapan akhir pembuatan komponen tersebut atau terpaksa dibuang karena tidak memenuhi spesifikasi dimensi dan bentuk yang telah dipersyaratkan dalam tahapan proses desain, terutama komponen-komponen yang memiliki bentuk yang kompleks seperti roda gigi.

Dalam studi ini akan dilihat pengaruh proses perlakuan panas *hardening* dengan menggunakan dua media pendingin (air dan oli) terhadap distorsi atau perubahan dimensi dan bentuk yang terjadi pada baja AISI 4140 dengan bentuk benda kerja *c-ring*, *o-ring* dan *disc*.

2. MATERIAL DAN METODE

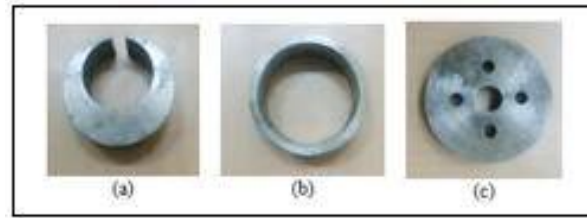
Material yang digunakan dalam studi ini adalah baja komersial AISI 4140 berbentuk *rod* dengan komposisi kimia dapat dilihat pada tabel 1. Baja tersebut kemudian dilakukan proses permesinan untuk membuat bentuk-bentuk spesimen berpac-*ring* (diameter luar 50 mm dan tebal 20 mm) , *o-ring*(diameter luar 50 mm dan tebal 20 mm) dan *disc*(diameter luar 50 mm dan tebal 10 mm) dengan lubang di tengah dan 4 lubang lainnya seperti ditunjukkan pada gambar 1.

TABLE 1. Komposisi kimia [8]

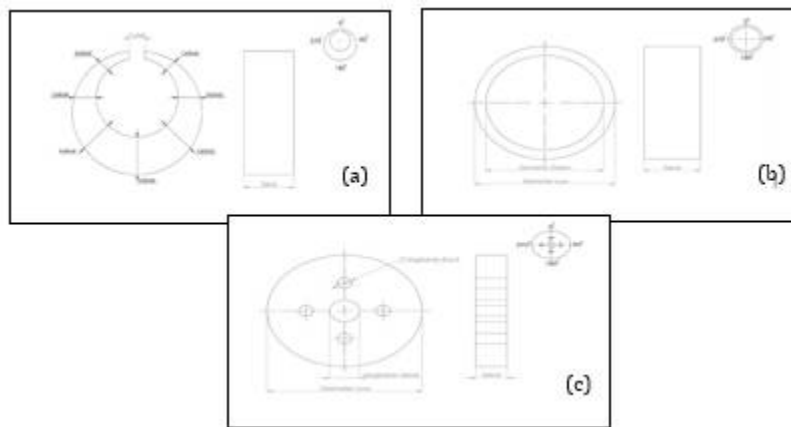
Unsur	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Sn	Al	Cu
% berat	0,42	0,25	0,74	0,01	0,023	1,14	0,02	0,2	0,026	0,0317	0,1

Sebelum dilakukan perlakuan panas, dilakukan pengukuran dimensi spesimen benda kerjadengan menggunakan *vernier caliper* yang memiliki ketelitian 0,01mm. Lokasi pengukuran spesimen dapat dilihat pada gambar 2. Untuk benda kerja berbentuk *c-ring*, pengukuran lebar dan tebal spesimen dilakukan pada lokasi pada sudut 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° dan 315°. Disamping pengukuran dimensi, juga dilakukan pengujian kerataan permukaan benda kerja dengan bantuan *dial indicator* yang memiliki ketelitian 0,01 mm dan pengukuran kebulatan juga dengan menggunakan *dial indicator*.

8 November 2017



GAMBAR 1. Bentuk-bentuk spesimen benda uji (a) *c-ring*, (b) *o-ring* dan (c) *disc*



GAMBAR 2. Lokasi pengukuran dimensi spesimen benda uji (a) *c-ring*, (b) *o-ring* dan (c) *disc*

Proses perlakuan panas dilakukan pada tungku perlakuan panas dimana benda kerja dipanaskan hingga temperatur austenisasi 845°C , ditahan selama 1 jam, dan didinginkan ke dalam dua media yang berbeda, yaitu air dan oli mesran SAE 20W. Setelah itu dilakukan kembali pengukuran dimensi benda kerja, kerataan permukaan dan kebulatannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

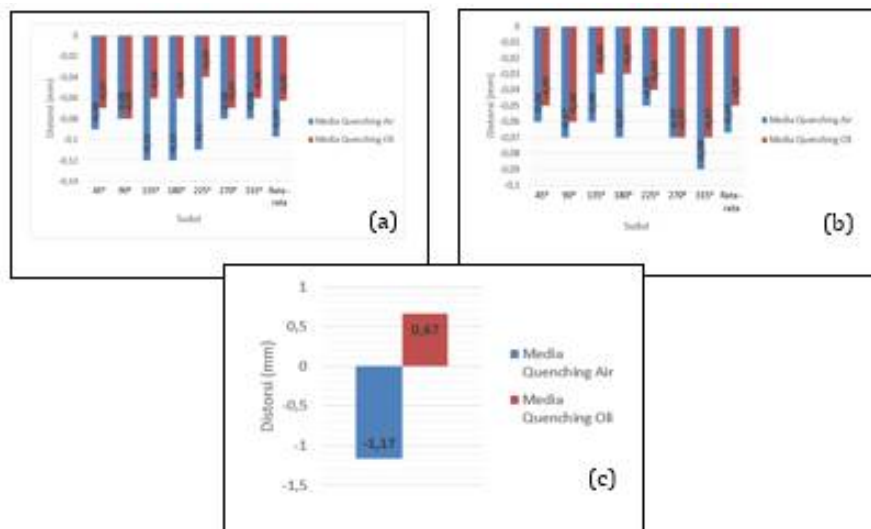
3.1 Hasil Pengukuran Dimensi dan Kerataan Permukaan Spesimen *C-ring*

Distorsi yang terjadi setelah pengukuran lebar dan tebal spesimen *c-ring* pada beberapa sudut serta besarnya celah sebelum dan sesudah proses perlakuan panas dengan media celup air dan oli dapat dilihat pada gambar 3.

Dari gambar 3 terlihat bahwa distorsi yang terjadi baik akibat proses pendinginan dengan menggunakan media air dan oli pada lebar dan tebal spesimen *c-ring* berupa penyusutan, sementara pada ukuran celah *c-ring* penyimpangan dimensi yang terjadi adalah penyusutan pada spesimen yang dicelup ke dalam air dan mengembang pada spesimen yang dicelup ke dalam oli.

8 November 2017

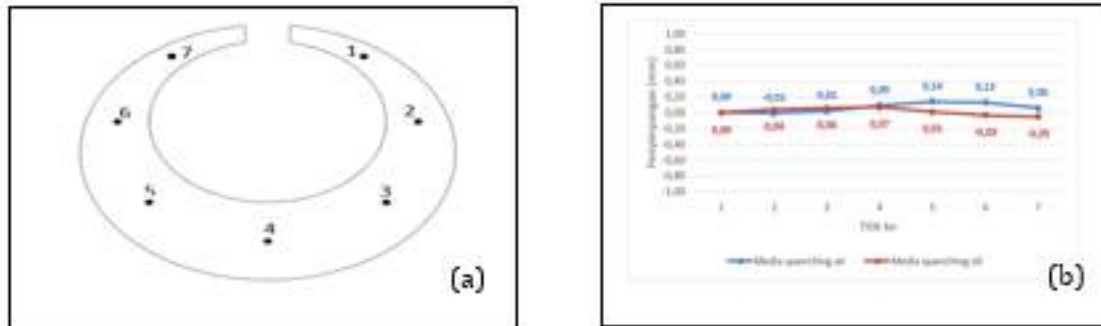
Secara umum, penyusutan yang terjadi pada spesimen yang dicelup dengan media air lebih besar dibanding pada spesimen yang dicelup pada media oli. Untuk ukuran lebar, penyusutan yang terbesar terjadi di lokasi pada sudut 135° dan 180° (lihat gambar 3a), sementara penyusutan pada ukuran tebal (lihat gambar 3b) yang terbesar terjadi di lokasi pada sudut 315° . Proses pendinginan dengan menggunakan air mengakibatkan distorsi berupa penyusutan pada ukuran celah ring sebesar $-1,17$ mm dan dengan menggunakan media pendingin oli, distorsi juga terjadi pada ukuran celah ring, dimana celah ring mengembang sebesar $0,67$ mm (lihat gambar 3c)



GAMBAR3.Perbandingan distorsi yang terjadi pada dimensi (a) lebar, (b) tebal dan (c) celah c-ring

Pengukuran kerataan benda kerja *ring* dilakukan di 7 titik seperti terlihat pada gambar 4a. Penyimpangan yang terjadi pada benda kerja setelah proses perlakuan panas dapat dilihat pada gambar 4b. Penyimpangan yang terjadi berkisar $-0,01$ mm hingga $+0,14$ mm pada spesimen yang dicelup dengan media air, sementara pada spesimen yang dicelup dengan media oli, penyimpangan terjadi berkisar $-0,05$ mm hingga $+0,07$ mm

8 November 2017



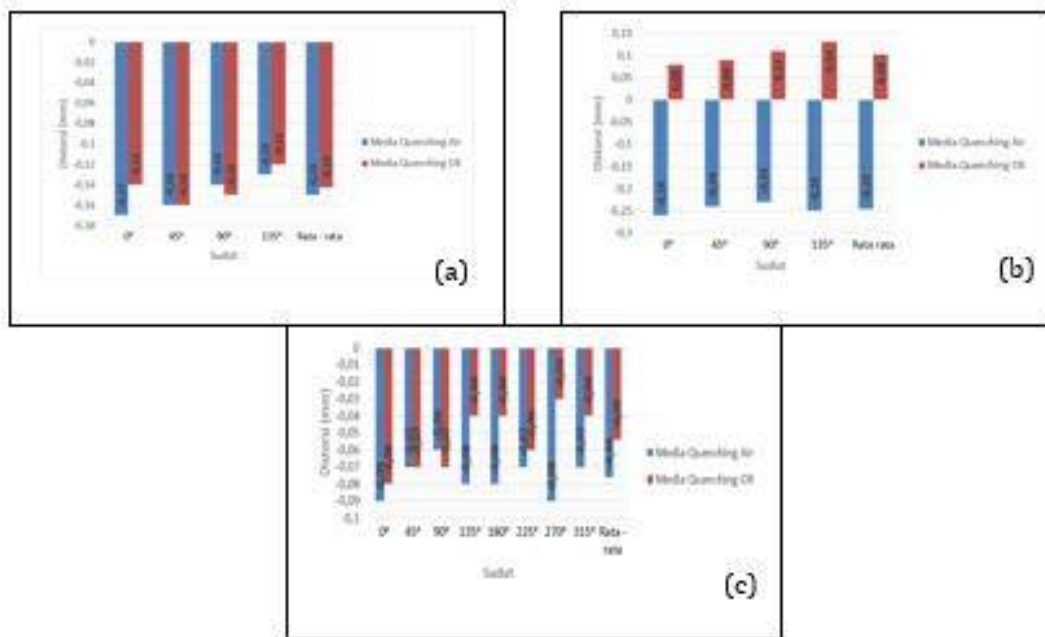
GAMBAR4.Lokasi pengukuran kerataan (a) dan hasil pengukuran kerataan pada spesimen c-ring (b)

1.2 Pengukuran Dimensi, Kerataan Permukaan dan Kebulatan Spesimen O-ring

Pada spesimen o-ring pengukuran dimensi yang dilakukan adalah pengukuran dimensi luar, dimensi dalam dan tebal spesimen benda kerja. Distorsi yang terjadi dapat dilihat pada gambar 5. Pada gambar 5a terlihat bahwa benda kerja baik yang didinginkan dengan air maupun oli mengalami penyusutan untuk ukuran diameter luar, dimana secara umum penyusutan yang dialami oleh specimen yang didinginkan dengan media air sedikit lebih besar dibanding spesimen yang didinginkan dengan oli. Penyusutan terbesar terjadi di lokasi pada sudut 0° yaitu sebesar $-0,17$ pada spesimen yang dicelup di media air, sementara penyusutan terkecil terjadi di lokasi pada sudut 135° yaitu sebesar $-0,12$ pada spesimen yang dicelup pada media oli. Sementara itu pada hasil pengukuran diameter dalam (gambar 5b), spesimen yang didinginkan dengan media air mengalami penyusutan dan spesimen yang didinginkan dengan media oli mengembang. Besarnya penyusutan hampir merata yaitu sebesar $-0,24$ mm hingga $-0,26$ mm. Sementara spesimen yang didinginkan dengan oli mengembang sebesar $0,08$ mm hingga $0,13$ mm.

Dari hasil pengukuran ketebalan spesimen di lokasi pada beberapa sudut (lihat gambar 5c) terlihat bahwa semua spesimen mengalami penyusutan. Secara umum penyusutan pada spesimen yang didinginkan dengan media air lebih besar dibanding pada spesimen yang didinginkan dengan media oli.

8 November 2017

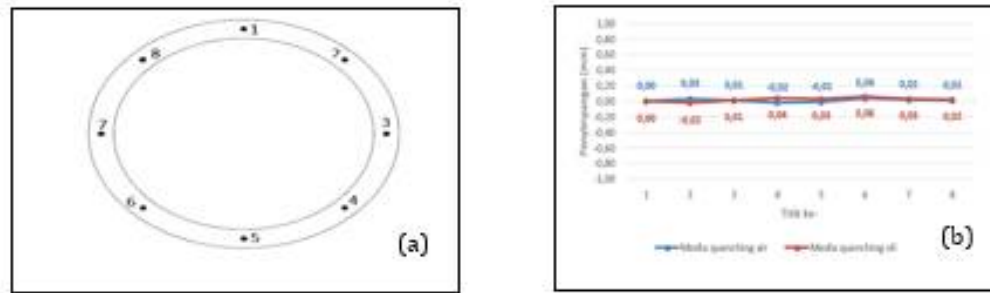


GAMBAR5. Perbandingan distorsi yang terjadi pada dimensi (a) diameter luar, (b) diameter dalam dan (c) tebal o-ring

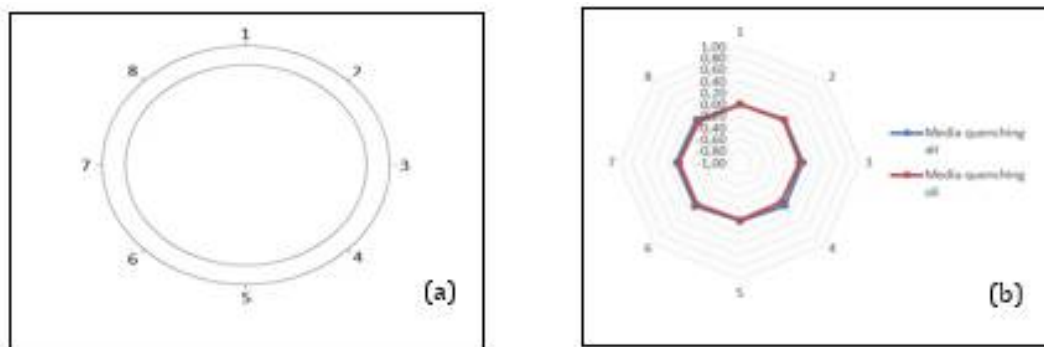
Lokasi pengukuran kerataan spesimen o-ring dapat dilihat pada gambar 6a dan penyimpangan yang terjadi setelah proses perlakuan panas dapat dilihat pada gambar 6b. Pada spesimen yang didinginkan dengan air besarnya distorsi sebesar -0,02 mm hingga +0,04 mm dan pada spesimen yang didinginkan dengan oli mengalami distorsi sebesar -0,02 mm hingga +0,06 mm.

Sementara itu untuk pengukuran kebulatan spesimen, lokasi pengukurannya dapat dilihat pada gambar 7a dan dan penyimpangan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 7b. Dari hasil ini juga terlihat bahwa kebulatan spesimen setelah mengalami perlakuan panas juga turut berubah. Secara umum perubahan kebulatan pada spesimen yang didinginkan dengan air lebih besar dibanding pada spesimen yang didinginkan dengan oli. Perubahan kebulatan pada spesimen yang didinginkan dengan air sebesar +0,01 mm hingga +0,06, sementara pada spesimen yang didinginkan dengan oli sebesar -0.01 mm hingga +0,03 mm

8 November 2017



GAMBAR6.Lokasi pengukuran kerataan (a) dan hasil pengukuran kerataan pada spesimen o-ring (b)



GAMBAR7.Lokasi pengukuran kebulatan (a) dan hasil pengukuran kebulatan pada spesimen o-ring (b)

1.2 Pengukuran Dimensi, Kerataan Permukaan dan Kebulatan Spesimen Disc

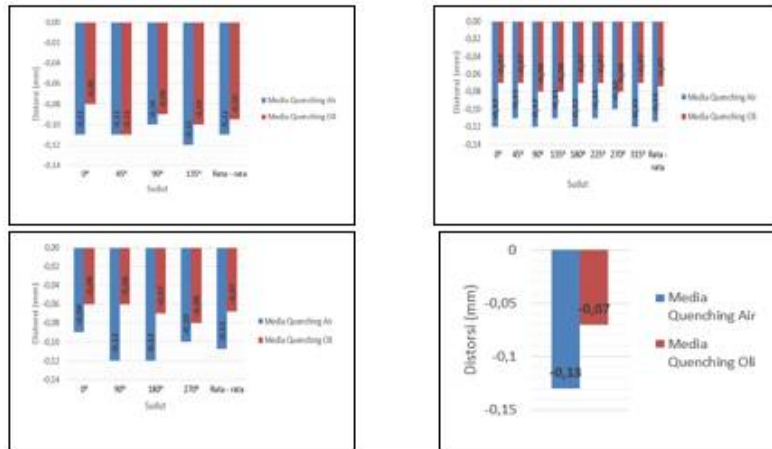
Pada spesimen berbentuk *disc*, pengukuran dilakukan pada diameter luar *disc*, tebal *disc*, diameter lingkaran kecil pada *disc*, diameter lingkaran besar yang berada di tengah-tengah *disc*, pengukuran kerataan dan kebulatan *disc*. Gambar 8 memperlihatkan penyimpangan yang terjadi pada beberapa dimensi *disc* yang diukur sebelum dan setelah proses perlakuan panas. Pada gambar 8a dapat dilihat bahwa diameter *disc* mengalami penyusutan setelah proses perlakuan panas dan proses pendinginan spesimen dengan menggunakan media air menghasilkan penyusutan yang lebih besar dibanding pada spesimen yang didinginkan dengan oli. Proses penyusutan terbesar terjadi di lokasi pada sudut 135° pada spesimen yang didinginkan dengan media air, sementara penyusutan terbesar terjadi di lokasi pada sudut 0° pada spesimen yang didinginkan dengan media celup oli.

8 November 2017

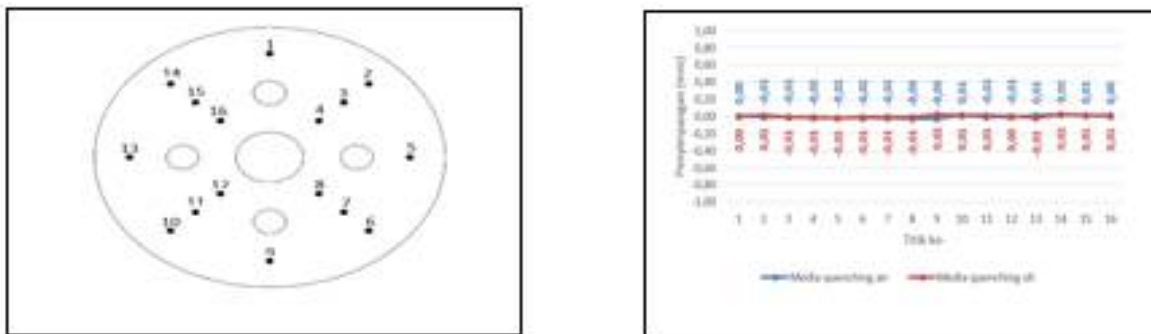
Dari gambar 8b juga terlihat bahwa baik spesimen yang didinginkan di air dan di oli semuanya mengalami penyusutan dimensi tebal *disc*. Di semua lokasi pengukuran spesimen yang didinginkan dengan air mengalami penyusutan yang lebih besar dibanding pada spesimen yang didinginkan dengan oli. Penyusutan juga terjadi di semua lubang kecil yang terdapat pada spesimen (lihat gambar 8c), dimana penyusutan pada spesimen yang didinginkan di air (-0,09 mm - -0,12 mm) lebih besar bila dibanding pada spesimen yang didinginkan di oli (-0,06 mm - -0,08 mm). Pada lubang besar yang berada di tengah-tengah *disc*, penyusutan juga terjadi (lihat gambar 8.d). Besarnya penyusutan adalah -0,13 mm pada spesimen yang didinginkan dengan air dan -0,07 mm pada spesimen yang didinginkan dengan oli.

Pengukuran kerataan juga dilakukan pada permukaan spesimen berbentuk *disc* ini. Terdapat 16 titik pengukuran kerataan yang lokasinya dapat dilihat pada gambar 9a. Sementara hasil pengukuran kerataan dapat dilihat pada gambar 9b. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa kerataan spesimen juga mengalami perubahan setelah mengalami proses *hardening* baik dengan pendinginan air maupun oli. Besarnya penyimpangan pada spesimen yang didinginkan dengan air sebesar -0,03 mm hingga +0,02 mm, sementara pada spesimen yang didinginkan pada oli penyimpangan yang terjadi berkisar antara -0,02 mm hingga +0,02 mm. Penyimpangan juga terjadi pada kebulatan spesimen yang mengalami perlakuan panas walau tidak besar. Lokasi pengukuran kebulatan pada spesimen *disc* dapat dilihat pada gambar 10a, sementara grafik yang menunjukkan adanya penyimpangan kebulatan dapat dilihat pada gambar 10b. Penyimpangan kebulatan yang terjadi pada spesimen yang didinginkan dengan air berkisar antara -0,03 mm hingga +0,01 mm, sementara pada spesimen yang dcelup ke dalam oli sebesar -0,02 mm hingga +0,01 mm.

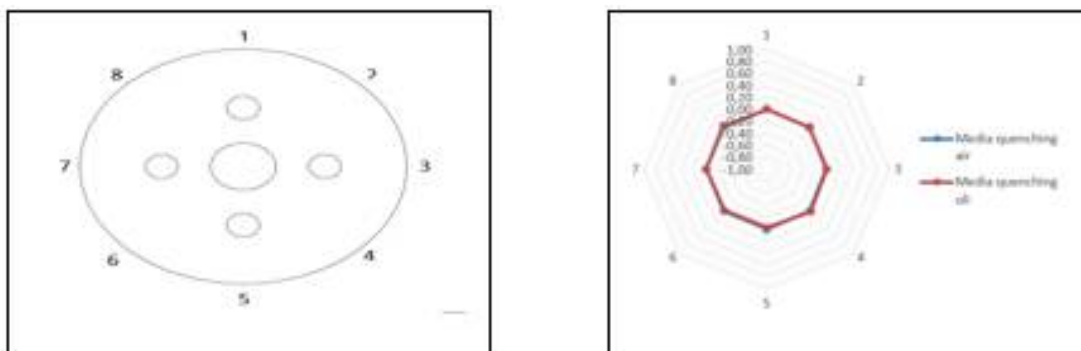
8 November 2017



GAMBAR8. Perbandingan distorsi yang terjadi pada dimensi (a) diameter, (b) tebal, (c) diameter lingkaran kecil dan (d) diameter lingkaran besar spesimendisc.



GAMBAR9. Lokasi pengukuran kerataan (a) dan hasil pengukuran kerataan pada spesimen disc(b)



GAMBAR10. Lokasi pengukuran kebulatan (a) dan hasil pengukuran kebulatan pada spesimen disc (b)

8 November 2017

4. KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh kesimpulan yang dapat ditarik dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Proses perlakuan panas dengan menggunakan tahapan pendinginan cepat baik dengan media air dan oli mengakibatkan terjadinya distorsi pada spesimen yang terbuat dari baja AISI 4140 berbentuk c-ring, o-ring dan disc.
2. Media pendingin air menghasilkan distorsi yang lebih besar dibanding media pendingin oli.
3. Bentuk spesimen juga menghasilkan distorsi yang berbeda-beda, dimana distorsi terbesar dialami oleh bentuk spesimen c-ring yaitu pada ukuran celah ring.

REFERENSI

- E. Brinksmeier, J. Solter and C. Grote, Distortion Engineering – Identification of Causes for Dimensional and Form Deviations of Bearing Rings, *Annals of the CIRP Vol 56 (1)*, 109-112 (2007).
- A. D. Da Silva, T. A. Pedrosa, J. L. Gonzalez-Mendez, X. Jiang, P. R. Cetlin, T. Altan, Distortion in quenching an AISI 4140 C-ring – Predictions and Experiments, *Materials and Design* 42, 55-61 (2012).
- E. Brinksmeier, T. Lubben, U. Fritsching, C. Cui, R. Rentsch, J. Solter, Distortion minimization of disks for gear manufacture, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 51, 331-338 (2011).
- M. Koc, J. Culp and T. Altan, Prediction of residual stresses in quenched aluminium blocks and their reduction through cold working processes, *Journal of Materials Processing Technology* 174, 342-354 (2006).
- P. Depouhon, J. M. Sprael dan E. Mermoz, Prediction of residual stresses and distortions induced by nitriding of complex 3D industrial parts, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 64, 553-556 (2015).
- S. Hossain, M. R. Daymond, C. E. Truman, D. J. Smith, Prediction and measurement of residual stresses in quenched stainless-steel spheres, *Materials Science and Engineering A* 373, 339-349 (2004).
- R. Atraszkiewicz, B. Januszewicz, Ł. Kaczmarek, W. Stachurski, K. Dybowski, dan A. Rzepkowski, High pressure gas quenching: Distortion analysis in gears after heat treatment, *Materials Science & Engineering A* 558, 550-557(2012).
- Test Certificate AISI DO No : 00871/III/15/smg Tgl 31-03-2015, Jakarta: PT. Bhinneka Bajasas.

**Analisis Kekerasan Dan Struktur Mikro Camshaft Mesin Kendaraan Pedesaan Pasca
Pengerasan Permukaan Menggunakan Pemanasan Induksi Statik**

Rifky Ismail^{1,a)}, Muizuddin Azka²⁾, Gunawan Dwi Haryadi¹⁾, & Sri Nugroho¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Pusat Teknologi Industri Permesinan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung Teknologi 2, Serpong Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang 15314

^{a)}rifky_ismail@ft.undip.ac.id

Abstract.

BPPT merupakan salah satu pihak yang ikut berkontribusi dalam proses desain dan pengembangan mesin kendaraan pedesaan yang digagas oleh pemerintah Indonesia. Salah satu komponen penting yang dikembangkan di BPPT, khususnya di Pusat Teknolobi Industri Permesinan adalah komponen camshaft. Camshaft merupakan elemen penting pada motor bakar torak yang bertugas membuka dan menutup katup hisap dan katup buang saat proses pembakaran berlangsung. Dalam prinsip kerjanya camshaft mendapatkan gesekan dan beban tekan pada permukaannya serta beban puntir pada bagian dalamnya sehingga dibutuhkan bagian permukaan yang keras tetapi bagian dalam tetap ulet. Pengerasan induksi (induction hardening) dilakukan untuk mengakomodasi kebutuhan tersebut. Metodologi dalam penelitian ini, material camshaft mendapatkan proses perlakuan panas menggunakan pemanas induksi, dalam hal ini teknik quenching dengan media pendingin berupa oli yang dilanjutkan dengan tempering. Pada proses quenching, arus output induksi maksimal 600 A, waktu pemanasan yaitu 15 detik, dan jumlah lilitan koil pemanas induksi 2 lilitan. Sementara pemanasan tempering menggunakan induksi dilakukan menggunakan koil 2 lilitan dengan waktu penahanan 15 detik dan suhu tempering, 150 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah proses induction hardening kekerasan sepsimen naik sekitar 50 HRC dari 32 HRC dengan ketebalan pengerasan sekitar 5 mm. Sementara setelah proses tempering kekerasan spesimen menurun tidak lebih dari 10%. Struktur mikro yang dominan pada daerah pengerasan adalah martensit.

Kata Kunci : Camshaft, Kendaraan Pedesaan, Kekerasan, Struktur Mikro, Induction Hardening

8 November 2017

PENDAHULUAN

Camshaft atau yang biasa disebut oleh bengkel sebagai “noken as” adalah suatu elemen penting pada motor bakar torak yang berfungsi untuk membuka dan menutup katup hisap dan katup buang dalam proses pembakaran dalam (*internal combustion*) [1]. Komponen *camshaft* dalam proses kerjanya dilengkapi dengan bantalan-bantalan dan *sprocket* atau gigi *timing* yang berfungsi untuk menghubungkannya dengan *sprocket* pada poros engkol atau *crankshaft*, dan sebagai penghubungnya adalah rantai. Dalam prinsip kerjanya untuk membuka dan menutup katup hisap dan katup buang maka *camshaft* akan bergesekan dengan *tappets* yang terhubung ke *rocker arm* sehingga besar kemungkinan terjadinya aus pada *camshaft* yang menyebabkan siklus membuka dan menutupnya katup tidak normal. Oleh karena itu maka dilakukan proses pengerasan (*hardening*) pada permukaannya yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan karena *camshaft* harus mempunyai nilai ketahanan yang tinggi terhadap gesekan namun tetap ulet di bagian dalam[2].

Pengerasan permukaan *camshaft* dalam beberapa industri pada awalnya dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran [3]. Pengerasan menggunakan tungku memberikan persebaran kekerasan yang lebih dalam dan merata sehingga seluruh bagian *camshaft* menjadi keras baik permukaan maupun dalamnya. Sedangkan *camshaft* ini menerima beban puntir sehingga tidak hanya permukaannya keras tetapi dibutuhkan juga nilai *toughness* yang tinggi untuk bagian dalamnya. Untuk mendapatkan kekerasan pada permukaan dan bagian dalam yang ulet maka dilakukan pengerasan permukaan dengan metode induksi. Alasan lain metode pengerasan *camshaft* dengan pemanasan induksi antara lain adalah dalam pemanasan induksi masing-masing pelatuk *cam* di *hardned* bergantian dengan parameter yang dikontrol sehingga *hardening process* lebih mudah di kendalikan [4].

Pemanasan induksi, yang selama ini telah digunakan dalam proses peleburan logam, merupakan sistem pemanasan yang sangat cepat dan efisien karena rugi-rugi radiasi dapat dikurangi [5]. Metode pemanasan induksi telah banyak dikembangkan di Departemen Teknik Mesin. Pada prinsipnya fenomena pemanasan induksi dimulai dengan melintasnya arus bolak-balik melalui koil untuk menghasilkan medan magnet. Kekuatan medan bervariasi sebanding dengan kekuatan arus yang melalui koil. Aplikasi metode pemanasan induksi di Departemen Teknik Mesin antara lain pada pengerasan roda gigi dan pengerasan pin kereta api [6 - 8].

8 November 2017

Arus eddy yang diinduksi ke dalam benda konduktif elektrik, misalnya silinder logam, ditempatkan di dalam kumparan. Fenomena resistensi menghasilkan panas di dalam daerah di mana arus eddy mengalir. Meningkatnya kekuatan medan magnet meningkatkan juga efek pemanasan. Namun, efek pemanasan juga dipengaruhi dengan sifat magnetik dari objek dan jarak objek tersebut dengan koil [9]. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji coba pengerasan *camshaft* dengan metode statik (*non rotating*) menggunakan alat pemanas induksi dengan dua tahap pengerjaan panas: *quenching* dan *tempering*.

Selanjutnya parameter tersebut akan diaplikasikan pada *camshaft* yang akan digunakan dalam usaha pengembangan mobil irit dengan kapasitas engine 990 cc sebagai pengangkut barang di pedesaan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

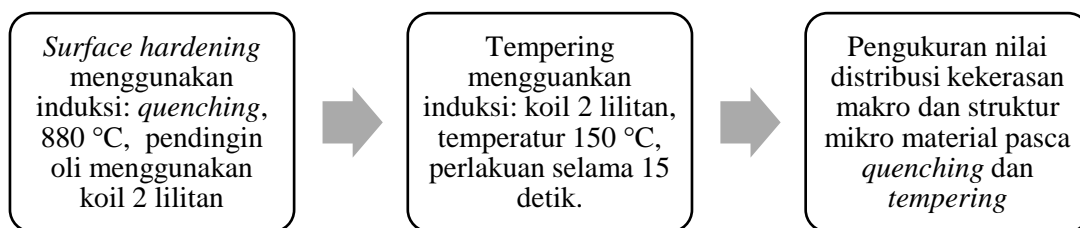
MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Material

BPPT menggunakan material dengan nama komersial HQ 705 untuk bahan yang digunakan untuk *camshaft*. Berdasarkan pengujian komposisi kimia yang dilakukan menggunakan Optical Emission Spectroscopy Switzerland QTD-127. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian komposisi untuk spesimen HQ 705 dengan unsur Fe sebesar 95,34% C sebesar 0,325%, Mn sebesar 0,599% , Cr sebesar 1,545% dan Mo 2,232%. Unsur lain yang tidak tertera dalam tabel menunjukkan hasil pengujian dengan nilai di bawah 0,01%. Uji komposisi ini juga memberikan gambaran bahwa material HQ 705 ekuivalen dengan baja AISI 4340 atau JIS SNCM 8.

TABLE 1. Komposisi unsur pada spesimen HQ 705.

Unsur	Fe	C	Si	Mn	Cr	P	Mo	Ni	Co	Cu	V	W
Persentase	95,34	0,325	0,255	0,599	1,545	<0,1	0,232	1,34	0,116	0,115	<0,1	<0,1

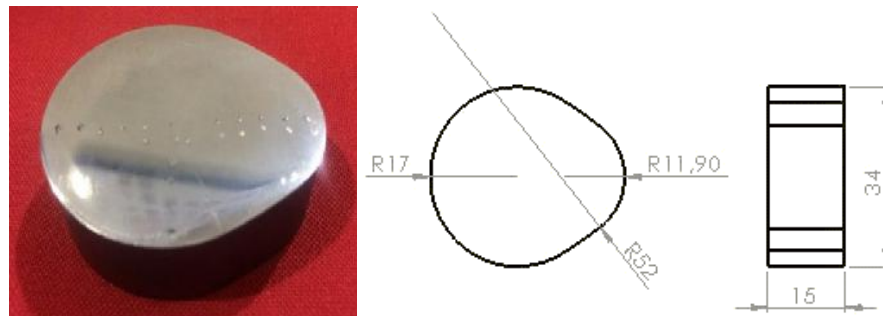


GAMBAR 1. Alur proses penelitian pengerasan permukaan *camshaft* menggunakan pemanas induksi melalui proses *quenching* dan *tempering*.

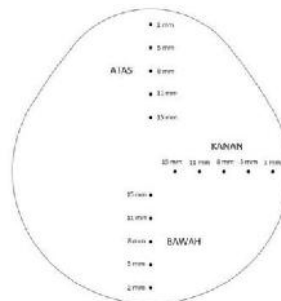
8 November 2017

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, material *camshaft* yang dikirimkan oleh BPPT akan mendapatkan proses perlakuan panas permukaan jenis *quenching* menggunakan media pendingin berupa oli. Pada proses *quenching*, parameter arus output pada alat induksi diset maksimal 600 A, waktu pemanasan ditetapkan yaitu 15 detik dan jumlah lilitan koil pemanas induksi 2 lilitan. Frekuensi kerja alat induksi adalah 53-57 kHz. Temperatur terukur saat proses pengerasan adalah 880 °C. Proses perlakuan panas permukaan ini menggunakan alat pemanas induksi yang dilakukan di Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi, Departemen Teknik Mesin UNDIP. Proses dilanjutkan dengan *tempering* menggunakan alat pemanas induksi menggunakan koil 2 lilitan dengan waktu penahanan 15 detik dan suhu *tempering*, 150 °C. Urutan proses pengerasan diperlihatkan secara sekuensial pada Gambar 1. Spesimen *cam* yang sudah dipotong dilengkapi dengan dimensi utamanya diperlihatkan pada Gambar 2 yang memperlihatkan juga teknik pengujian distribusi nilai kekerasan dalam satuan HRC dan jenis koil yang digunakan dalam proses pemanasan induksi. Hal penting yang ditekankan dalam penelitian ini adalah spesimen *cam* diletakkan dalam koil dengan posisi diam tidak bergerak.

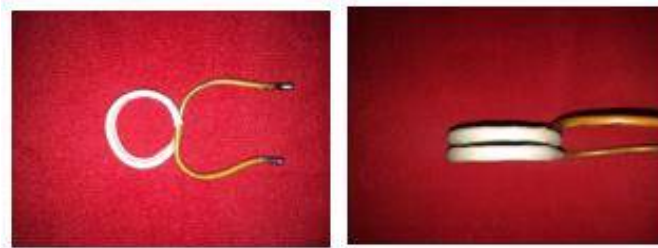


(a)



(b)

8 November 2017



(c)

GAMBAR 2. (a) Bentuk dan dimensi spesimen *camshaft* setelah dipotong, (b) Tiga jenis posisi pengujian distribusi nilai kekerasan HRC pada arah atas, bawah dan kanan dan (c) koil dengan 2 lilitan yang digunakan dalam proses pengerasan *quenching* dan *tempering*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kekerasan Makro

Data pengujian kekerasan makro setelah spesimen mengalami proses *surface hardening quenching* dengan media oli ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan setelah mendapatkan perlakuan *tempering* diperlihatkan pada Tabel 3. Data yang ditampilkan berikut ini adalah hasil pengujian distribusi kekerasan sebagai fungsi kedalaman untuk permukaan potongan *camshaft* dengan persebaran titik pengujian seperti pada Gambar 2 (b). Pengujian kekerasan dilakukan dengan 5 variasi kedalaman dari permukaan luar *camshaft*, yaitu kedalaman 2, 5, 8, 11 dan 14 mm. Bagian paling dalam sudah mencapai sekitar titik tengah radius *camshaft*. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan ini, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada bagian permukaan naik antara 48-50 HRC dari nilai awal 32-33 HRC. Nilai kekerasan ini naik 50-51 % pasca *quenching* di bagian permukaan dibandingkan dengan nilai kekerasan awal material.

Pengujian kekerasan dilakukan di tiga area, yaitu titik bagian, titik bagian kanan dan titik bagian bawah *camshaft*. Hal ini dilakukan mengingat bentuk *camshaft* yang tidak simetri sehingga proses pengujian dilakukan di tiga area yang berbeda untuk mengamati homogenitas proses pengerasan permukaan. Pengerasan dilakukan menggunakan teknik statis pada koil yang melilit material *camshaft*. Jika proses pemanasannya tidak homogen akan mengakibatkan kurang meratanya distribusi nilai kekerasan. Hasilnya menunjukkan bahwa proses pengerasan secara umum merata di tiga titik uji kekerasan yang ditandai dengan miripnya nilai kekerasan maksimum di tiga titik uji (Gambar 3).

8 November 2017

TABLE 2. Hasil pengujian kekerasan (HRC) setelah surface hardening *quenching*

Posisi Kedalaman (mm)	Nilai Kekerasan (HRC)		
	Titik Atas	Titik Kanan	Titik Bawah
2	48	50	50
5	34	44	49
8	33	34	33
11	36	35	35
14	35	35	36

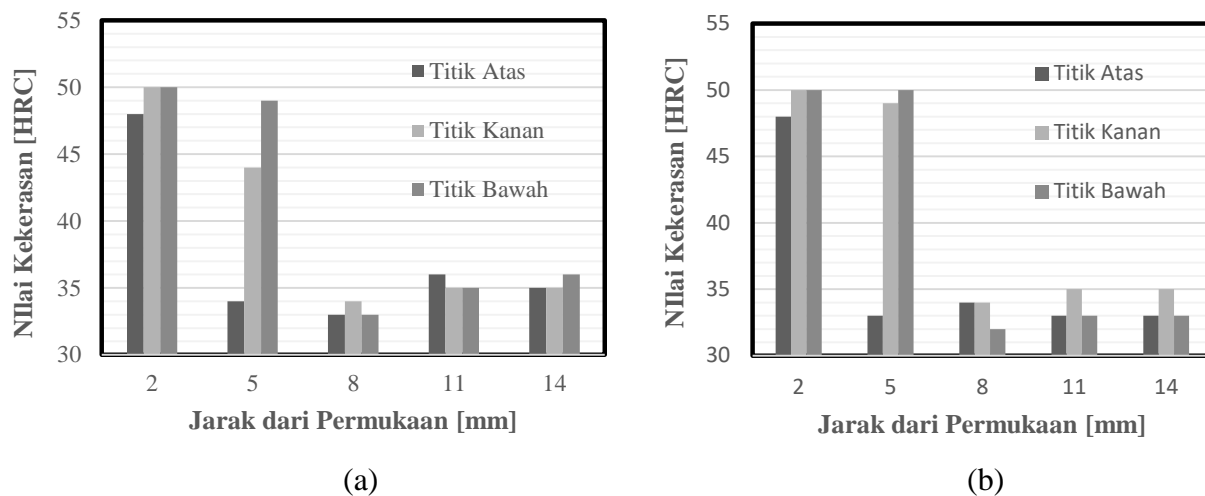
TABLE 3. Hasil pengujian kekerasan setelah *tempering*

Posisi Kedalaman (mm)	Nilai Kekerasan (HRC)		
	Titik Atas	Titik Kanan	Titik Bawah
2	48	50	50
5	33	49	50
8	34	34	32
11	33	35	33
14	33	35	33

8 November 2017

Proses *quenching* berikutnya diikuti oleh proses *tempering* yang grafik perbandingan nilai kekerasan pada tiga daerah dapat dilihat pada Gambar 3. Secara umum, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai kekerasan setelah *quenching* dan setelah *tempering*. Proses pengujian nilai kekerasan pasca *tempering* dilakukan pada sisi lain dari pengujian pasca *quenching*. Secara umum di bagian permukaan dan bagian dalam tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara nilai kekerasan pasca *tempering* dan pasca *quenching*. Nilainya berkisar 33-50 HRC.

Pada proses pengamatan lapisan pengerasan secara makro pada spesimen dijumpai ketebalan pengerasan permukaan yang berbeda. Pada bagian *camshaft nose* yang berada pada garis *lobe center line* memiliki nilai kedalaman pengerasan yang paling tipis dibandingkan area *camshaft heel*. Pada bagian *camshaft nose* ketebalan pengerasannya adalah 3 mm sedangkan pada bagian *camshaft heel* nilai ketebalannya mencapai 6 mm. Hal ini menunjukkan bahwa saat proses pemanasan ada area yang mengalami pemanasan yang lebih dalam disebabkan karena tidak simetrisnya bentuk dari *camshaft* ini. Gambar 4 (a) menunjukkan perbedaan kedalaman pengerasan dari sisi atas dan bawah *camshaft* sedangkan untuk bagian kanan dan kiri memiliki ketebalan pengerasan yang relatif sama.



GAMBAR 3. (a) Distribusi nilai kekerasan pasca quenching dan (b) distribusi nilai kekerasan pasca tempering,

8 November 2017



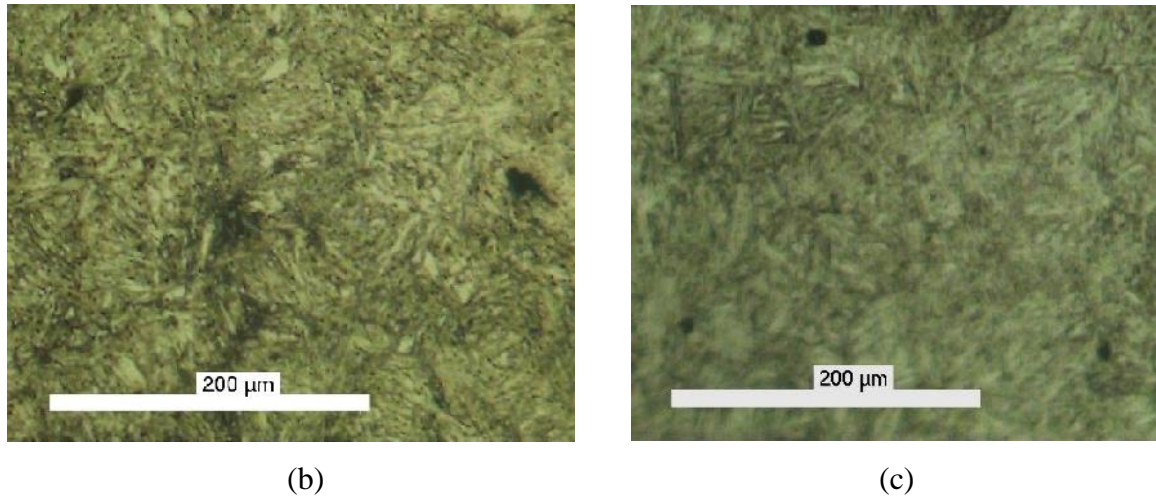
GAMBAR 4. Hasil foto makro kedalaman pengerasan pemanasan induksi quenching dan tempering

Pengujian Struktur Mikro

Pengujian spesimen awal material HQ 705 *as receive* yang diberikan BPPT menunjukkan bahwa strukturnya sudah memiliki bentuk martensit yang dicirikan dengan serpihan tajam berupa flakes yang diperlihatkan pada Gambar 5(a). Material ini diprediksi telah mengalami proses pengerasan saat diterima dan diproses oleh BPPT menjadi material *camshaft*. Proses *quenching* dan *tempering* yang dilakukan dalam penelitian ini menargetkan material dengan struktur mikro tempered martensit. Hanya dalam pengamatannya dijumpai bahwa struktur martensit yang terbentuk masih belum mengalami proses temper yang sempurna sehingga masih terlihat memiliki bentuk struktur mikro martensit yang berbentuk serpihan tajam [11] sebagaimana terlihat pada Gambar 5(b).

Proses temper diperkirakan membutuhkan temperatur dan waktu pemanasan yang lebih tinggi. Dalam eksperimen pemilihan waktu selama 15 detik dan 150 °C perlu dinaikkan untuk mendapatkan struktur mikro martensit temper yang sesuai dengan target. Parameter yang berpengaruh terhadap proses tempering menggunakan alat pemanas induksi adalah jumlah koil yang digunakan untuk memanaskan, temperatur pemanasan dan lamanya waktu penahanan saat dipanaskan. Rekomendasi yang diberikan adalah menaikannya waktu penahanan dan temperatur pemanasan dalam proses tempering sehingga bisa menghasilkan struktur tempered martensite. Namun demikian, dengan adanya nilai kekerasan yang didapatkan mencapai 50 HRC di bagian permukaan dan 33 HRC di bagian tengah dan kedalaman pengerasan setebal 3-6 mm, material ini telah dipandang mampu untuk digunakan sebagai material *camshaft*.

8 November 2017



GAMBAR 5. (a) Hasil foto mikro kondisi awal spesimen dan (b) foto mikro kondisi spesimen pasca quenching dan tempering (mikroskop optik perbesaran 200x).

KESIMPULAN

Proses pengerasan permukaan pada material *camshaft* milik BPPT telah berhasil dilakukan dan menghasilkan ketebalan pengerasan antara 3 – 6 mm. Tujuan penelitian untuk melakukan kajian pengerasan induksi (*induction hardening*) dalam mengeraskan permukaan *camshaft* menghasilkan nilai kekerasan antara 48 – 50 HRC pada bagian permukaannya sedangkan bagian dalamnya masih dapat dipertahankan berkisar 33 HRC. Adanya proses perlakuan panas *quenching* menggunakan media pendingin berupa oli dengan parameter arus output pada alat induksi diset maksimal 600 A, waktu pemanasan ditetapkan yaitu 15 detik dan jumlah lilitan koil pemanas induksi 2 lilitan dipandang menghasilkan nilai kekerasan yang sesuai harapan di mana nilai kenaikannya mencapai 50% dari nilai kekerasan awal. Namun pemilihan proses tempering menggunakan koil 2 lilitan dengan waktu penahanan 15 detik dan suhu tempering, 150 °C dipandang perlu ditingkatkan karena struktur mikro yang terbentuk pasca tempering menggunakan parameter terpilih masih menghasilkan struktur martensit. Adanya peningkatan nilai kekerasan mencapai 50 HRC dengan ketebalan pengerasan 3-6 mm ini dipandang telah cukup untuk digunakan sebagai komponen *camshaft* mobil pedesaan. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan

8 November 2017

ACKNOWLEDGMENTS

Peneliti dari UNDIP menyampaikan terima kasih atas pembiayaan pengujian dan peyediaan bahan baku oleh tim peneliti dari BPPT yang mengawali dilaksanakan eksperimen dan pengujian di Laboratorium Perancangan Teknik dan Tribologi, Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

REFERENSI

1. H. Yamagata, *The Science and Technology of Materials in Automotive Engines*. (Woodhead Publishing Limited. England, 2005)
2. Supriyanto dan Z, Abdillah, Jurnal Teknik Universitas Janabadra, **Vol 1 (2)**, 110-117 (2011).
3. Center for Material Fabrication, Techapplication **Vol. 8 (2)**, 1-2 (1994)
4. EFD Induction, *Camshaft Hardening: A Guide to the Benefits of Induction Heating*, EFD, Austria.
5. R.E. Haimbaugh, *Practical Induction Heat Treating*. (ASM International, USA, 2001)
6. R. Ismail, M. Tauviqirrahman, S. Sugiyanto, J. Jamari, “Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM,” *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan* (Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2011)
7. R. Ismail, E. Yohana, M. Tauviqirrahman, A.P. Bayuseno, “Aplikasi Teknik Continuous Hardening Menggunakan Alat Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Pin,” *Simposium Nasional RAPI XIII* (Fakultas Teknik UMS, Surakarta, 2014)
8. R. Ismail, D.I. Prasetyo, M. Tauviqirrahman, E. Yohana, dan A.P. Bayuseno, *Advanced Materials Research*, **Vol. 911** 210-214 (2014)
9. J.M. Schneider, “Introduction to Surface Hardening of Steels Heat Treating, Vol 4,” in *ASM Handbook*. (ASM International, USA, 19910, p 259–267.
10. A.P. Bayuseno, E. Yohana, M. Dzulfikar, D.I. Prasetyo, M. Khafidh, dan R. Ismail, “Pengaruh Tempering Menggunakan Pemanas Induksi Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Material Baja ST-60 pasca-quenching” *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Universitas Trisakti, Jakarta 2014).
11. W.D. Callister, dan D.G. Rethwisch, D. G. *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. (John Wiley & Sons, Inc, USA, 2010)

**Pengujian Kekuatan Tarik Dan Impak Terhadap Material Bucket Teeth Excavator
Yang Mengalami Quenching Dan Tempering Menggunakan Tungku Pemanas**

Rifky Ismail^{a)}, Rudi Risbianto, Mohammad Tauviqirrahman, Sugiyanto, & A.P. Bayuseno

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto Kampus UNDIP Tembalang Semarang

^{a)}rifky_ismail@ft.undip.ac.id

Abstract.

Penggunaan peralatan berat dibutuhkan dalam berbagai kegiatan proyek seperti pertambangan, pembuatan jalan dan pengerukan sungai. *Excavator* merupakan salah satu alat berat yang banyak digunakan dalam berbagai kegiatan tersebut di atas. Kontinuitas dan beban pekerjaan yang dikerjakan oleh *excavator* membutuhkan sifat mekanis yang baik dan handal agar pekerjaan proyek berjalan lancar. Salah satu bagian *excavator* yang merupakan komponen habis pakai dan dapat mengalami kegagalan adalah *bucket teeth*. Paper ini membahas mengenai pemberian proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering* pada *bucket teeth excavator* untuk menghasilkan sifat material yang diharapkan dan memenuhi kriteria SNI *bucket teeth excavator*. Metodologi eksperimen yang dilakukan adalah perlakuan *quenching* dan *tempering* menggunakan tungku pemanas, *quenchant* media menggunakan oli. Pada penelitian ini suhu pemanasan mencapai suhu austenit sebesar 900 °C dengan *holding time* selama 30 menit dan di*quenching* menggunakan media oli. Kemudian dilanjutkan *tempering* pada suhu 250 °C dengan *holding time* selama 45 menit dan didinginkan pada suhu ruangan. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi unsur, uji kekuatan tarik dan uji impak. Hasil yang didapatkan adalah *quenching* media oli pada penelitian ini dapat menaikkan kekuatan tarik dan hasil uji impak dari material awal tanpa perlakuan. Sedangkan proses *tempering* pada penelitian ini menurunkan kekuatan tarik dari material awal, namun nilai elongasi dan impak dari pasca proses *tempering* meningkat dibandingkan hasil uji pasca *quenching* oli. Secara umum hasilnya menunjukkan bahwa bucket teeth excavator produk IKM sudah memenuhi SNI untuk uji tarik dan impaknya namun butuh perbaikan sedikit pada paduan unsur-unsur lain yang masih lebih dari 0,3%.

Kata Kunci : *Bucket teeth Excavator*, Kekuatan Tarik, Elongasi, Impak, Perlakuan Panas

8 November 2017

PENDAHULUAN

Alat-alat berat di bidang konstruksi sangat dibutuhkan dalam menunjang pekerjaan manusia. Salah satu alat berat yang sering digunakan, khususnya dalam pekerjaan pembangunan suatu bangunan adalah *excavator*. *Excavator* atau ekskavator atau lebih sering disebut begoh (di Indonesia; dari kata *backhoe*) merupakan suatu alat berat yang memiliki beberapa jenis fungsi, diantaranya ialah untuk melakukan penggalian, dan pengumpulan tanah, serta pengangkutan tanah dan atau barang [1].

Pada *excavator*, ada bagian yang digunakan sebagai komponen penggali, pemadat, pemuat atau pengangkat material yang disebut sebagai *excavator bucket*. Bagian ujung dari *bucket* ini yang berperan seperti cakar-cakar atau kuku-kuku disebut *bucket teeth*, merupakan bagian yang paling sering mengalami gagal (aus maupun patah) ketika *excavator* dioperasikan [2]. Adanya ketidakseragaman kekerasan pada permukaan *bucket teeth* serta karakteristik material yang kurang baik merupakan penyebab kegagalan tersebut. Pada pengoperasiannya, ketika bagian ini mengalami aus atau bahkan patah maka akan diganti dengan *bucket teeth* yang baru.

Hal ini mendorong pemerintah mengeluarkan standar khusus untuk *bucket teeth* di Indonesia yaitu SNI 8050:2014 [3]. Standar tersebut berisi nilai sifat mekanis, komposisi unsur pada material *bucket teeth*, dan lainnya yang harus dipenuhi. Standar ini dijadikan peluang bagi perusahaan-perusahaan industri baja baik yang berada di luar maupun di dalam negeri untuk memproduksi dan menawarkan *bucket teeth* mereka dengan kualitas yang baik dan sesuai standar, yang dapat bersaing dipasaran. Berdasarkan observasi di pasar, hingga saat ini komponen *bucket teeth* yang dijual dipasar Indonesia masih didominasi produk impor. IKM di dalam negeri masih belum mampu menghasilkan *bucket teeth* yang memiliki sifat dan karakteristik yang memenuhi SNI. Penelitian ini dilakukan untuk membahas proses perlakuan panas *quenching* dan *tempering* pada *bucket teeth* untuk menghasilkan sifat material yang diharapkan dan memenuhi kriteria SNI *bucket teeth excavator*. Perlakuan *quenching* dan *tempering* menggunakan tungku pemanas di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin UNDIP dengan bahan baku produk berasal dari sentra pengecoran Ceper, Klaten, Jawa Tengah. Pengujian yang dilakukan yaitu uji komposisi kimia, uji tarik dan uji impak.

8 November 2017

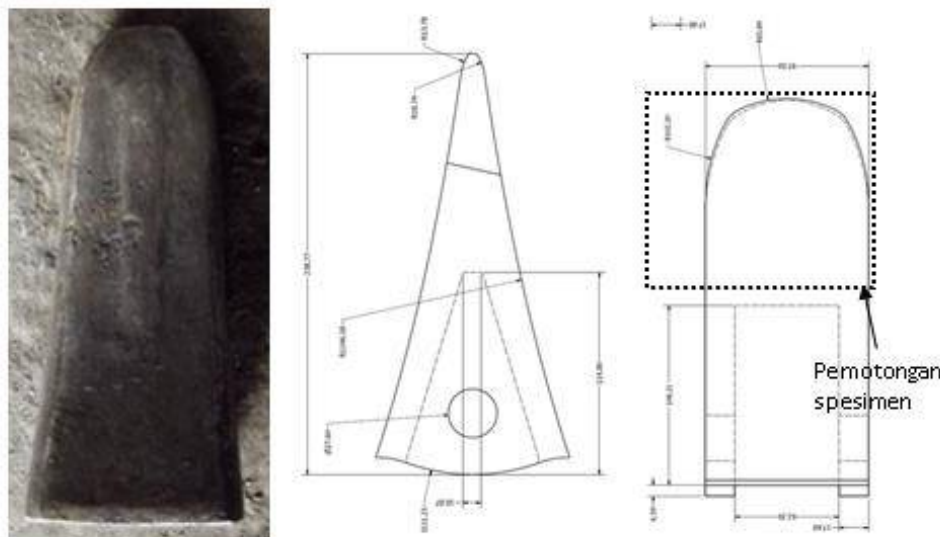
MATERIAL DAN METODE

Material

Bucket teeth excavator yang diuji pada penelitian ini merupakan *bucket teeth excavator* hasil pengecoran di sebuah IKM di Ceper, Klaten dengan komposisi unsur kimia dari material *bucket teeth excavator* dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi *bucket teeth excavator* ditunjukkan oleh Gambar 1 disertai gambar detail potongannya. Pemotongan ini dilakukan untuk membentuk spesimen pengujian kekuatan tarik dan impak. *Bucket teeth excavator* ini merupakan salah satu contoh *bucket teeth excavator* yang digunakan untuk *excavator* kelas 10-40 ton yang dibuat di IKM sentra industri logam Ceper, Klaten yang selama ini masih sulit diterima pasar. Pada penelitian ini, material dimodifikasi agar memenuhi SNI yang telah ditetapkan [3].

TABEL 1. Komposisi unsur kimia pada material *bucket teeth excavator*

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Lain-Lain
Kandungan (%)	98,182	0,329	0,308	0,727	0,007	0	0,4469



GAMBAR 1. *Bucket teeth excavator* hasil produksi IKM di Ceper, Klaten dengan dimensinya

8 November 2017

Metode

Penelitian ini menggunakan spesimen hasil pemotongan *bucket teeth excavator* sebagai material penelitian. Spesimen dibuat dengan memotong *bucket teeth excavator* dari bagian depan ke tengah seperti pada Gambar 1. Hasil pemotongan ini dibuat spesimen uji tarik dan impak dengan masing-masing dimensi sesuai standar JIS Z2201 dan ASTM E23 [4] secara berurutan yang dapat dilihat pada Gambar 2. Spesimen yang digunakan untuk setiap pengujian masing-masing berjumlah enam spesimen.

Penelitian ini menggunakan metode perlakuan panas *quenching* dan *tempering* dengan tungku pemanas sebagai media pemanas dan oli sebagai *quenchant* untuk mendapatkan sifat mekanis material yang diharapkan sesuai SNI Pemilihan oli ini untuk mendapatkan kecepatan pendinginan yang tidak terlalu cepat yang kemungkinan dapat menyebabkan crack pada material [5]. Material yang digunakan adalah spesimen tanpa perlakuan, dengan perlakuan *quenching* serta perlakuan *quenching* dilanjutkan dengan *tempering* sehingga diketahui perbedaan kekuatan tarik dan impak sebelum dan pasca perlakuan panas.

Perlakuan panas dilakukan menggunakan Thermolyne Furnace Chamber di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin UNDIP. Perlakuan panas *quenching* dilakukan dengan memanaskan material sampai suhu austenite 900°C dan ditahan di dalam tungku pemanas selama 30 menit kemudian didinginkan secara cepat pada *quenchant* oli. *Tempering* dilakukan dengan memanaskan material di bawah suhu austenite 250°C dan ditahan di dalam tungku selama 45 menit selanjutnya didinginkan pada suhu ruangan. Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menggunakan Universal Testing Machine GD 1100-100 di Lab. Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin UNDIP sesuai standar pengujian JIS Z2201 sedangkan pengujian kekuatan impak dilakukan di Lab. Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin UGM sesuai standar pengujian ASTM E23 Type A metode Charpy [4].



GAMBAR 2. Spesimen pengujian yang didapat dari hasil pemotongan *bucket teeth excavator*:

(a) Spesimen uji tarik (b) Spesimen uji impak

8 November 2017

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan beberapa pengujian yaitu uji komposisi, uji kekerasan, uji tarik, dan uji impak. Pengujian dilakukan pada spesimen tanpa perlakuan (*as cast*), spesimen sesudah *quenching* (*Quenched*), dan spesimen sesudah *tempering* (*Tempered*). Berikut adalah hasil dan pembahasan dari pengujian tersebut.

Hasil Uji Komposisi

Uji komposisi dilakukan dengan alat spectrometer. Komposisi yang menjadi acuan pada SNI adalah unsur C, Si, Mn, P, S, dan unsur lain-lain. Hasil pengujian komposisi dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2. Hasil uji komposisi

%Unsur	<i>Bucket teeth</i>	
	(%)	SNI (%)
C	0,329	0,28-0,35
Si	0,308	0,30-0,80
Mn	0,727	0,70-1,40
P	0,007	≤0,035
S	0	≤0,035
lain-lain	0,447	≤0,30

Dari hasil pengujian komposisi dapat dilihat bahwa % C, %Si, %Mn, %P, %S, dan %unsur lain-lain secara urut adalah 0,329 %, 0,308%, 0,727%, 0,007%, 0% dan 0,447 %. Berdasarkan pengujian tersebut, jika dibandingkan dengan SNI maka kandungan unsur C, Si, Mn, P, dan S sudah memenuhi SNI. Sedangkan untuk kandungan unsur lain-lain masih belum memenuhi SNI. Dari hasil pengujian komposisi tersebut maka hasil produk *bucket teeth* tergolong bajak karbon sedang karena mengandung unsur C 0,3%-0,6%.

8 November 2017

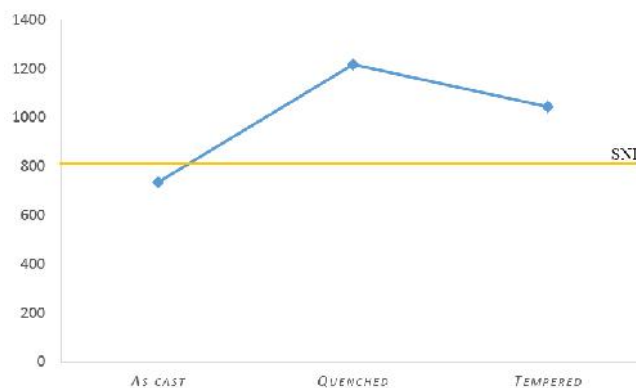
Hasil Uji Tarik

Uji tarik dilakukan sesuai ASTM – 08 [4] dan untuk ukuran spesimen dibuat sesuai JIS Z2201. Pengujian dilakukan pada spesimen *bucket teeth* tanpa perlakuan (*as cast*), sesudah *quenching* (*Quenched*), dan sesudah *tempering* (*Tempered*). Hasil dari pengujian tarik yang akan dibahas adalah kekuatan tarik dan elongasi. Pada SNI kekuatan tarik dan elongasi *bucket teeth* harus > 800 MPa dan >5%. Hasil uji tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3. Hasil uji tarik

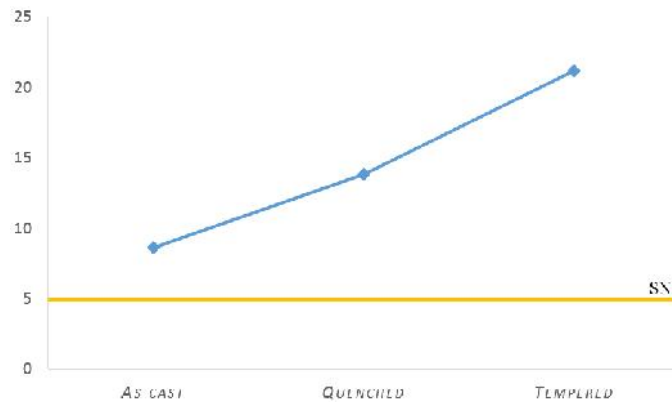
Spesimen	Kekuatan Tarik (MPa)	Elongasi (%)
<i>As cast</i>	734,87	8,628
<i>Quenched</i>	1216,01	13,828
<i>Tempered</i>	1041,96	21,172
SNI	>800	> 5

Dari hasil kekuatan tarik dapat dilihat pada material tanpa perlakuan panas (*as cast*) menghasilkan kekuatan tarik sebesar 734,87 MPa dimana hasil tersebut masih belum memenuhi SNI. Setelah diberi perlakuan panas hingga suhu 900 °C dengan media *quenching* oli, kekuatan tarik meningkat hingga 1216,01MPa. Setelah proses *tempering* pada suhu 250 °C selama 45 menit, kekuatan tarik menurun menjadi 1041,96. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Hasil kekuatan tarik dari proses uji tarik spesimen *as cast*, *quenched* dan *tempered*

8 November 2017



GAMBAR 4. Hasil persen elongasi dari uji tarik

Dari hasil persen elongasi dapat dilihat pada material tanpa perlakuan panas (*as cast*) menghasilkan persen elongasi sebesar 8,628 %. Setelah diberi perlakuan panas hingga suhu 900 °C dengan media *quenching* oli, persen elongasi meningkat hingga 13,82 %. Setelah proses *tempering* pada suhu 250 °C selama 45 menit, persen elongasi meningkat menjadi 21,17 %. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil Uji Impak

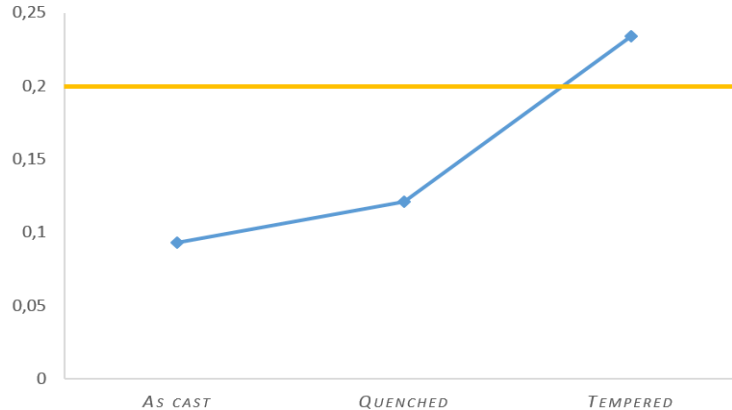
Uji impak dilakukan sesuai ASTM – 23. Pengujian dilakukan pada spesimen *bucket teeth* tanpa perlakuan (*as cast*), sesudah *quenching* (*quenched*), dan sesudah *tempering* (*tempered*). Pada SNI harga impak *bucket teeth* harus >0,2 J/mm². Hasil uji tarik dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4. Hasil uji impak

Spesimen	Harga Impak (J/mm ²)
<i>As cast</i>	0,093
<i>Quenched</i>	0,121
<i>Tempered</i>	0,234
SNI	>0,2

Dari hasil harga dapat dilihat pada material tanpa perlakuan panas (*as cast*) menghasilkan harga impak sebesar 0,093 J/mm² dimana hasil tersebut masih belum memenuhi SNI. Setelah diberi perlakuan panas hingga suhu 900 °C dengan media *quenching* oli, harga impak meningkat hingga 0,121J/mm². Setelah proses *tempering* pada suhu 250 °C selama 45 menit, harga impak meningkat menjadi 0,234 J/mm². Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.

8 November 2017



Gambar 5. Hasil uji impact

Dalam penelitian ini dengan menggunakan tungku pemanas, bucket telah mampu di treatment untuk memenuhi kualifikasi SNI yang baik dan siap untuk bersaing dengan produk impor. Komposisi unsur, nilai kekuatan tarik dan impact yang dihasilkan menggunakan teknik pengerasan *quenching* dan *tempering* ini telah dapat memenuhi persyaratan SNI. Salah satu temuan yang mendorong perlunya pengembangan adalah durasi waktu perlakuan panas yang harus dilakukan. Jika diamati, proses perlakuan panas membutuhkan waktu hingga lebih dari 8 jam dalam setiap proses untuk menaikkan temperatur hingga suhu 900 °C, ditahan selama waktu tertentu kemudian dicelup cepat menggunakan media oli. Setelah tungku ditunggu dalam waktu 3 jam hingga dingin, bucket tetth dimasukkan kemabli untuk dilakukan proses *tempering*. Proses menaikkan temepratur hingg 250 °C dan menahan selama 45 menit membutuhkan waktu hampir 2 jam. Lamanya proses ini membutuhkan upaya untuk memperpendek waktu perlakuan.

Induction hardening atau pengerasan induksi menggunakan alat pemanas menggunakan prinsip induksi elektromagnetik banyak dimanfaatkan untuk melakukan perlakuan terhadap permukaan material yang mengalami kontak gesek agar ketahanan terhadap ausnya dapat meningkat dengan waktu yang cukup singkat [6-9]. Beberapa penggunaan potensial dari alat pemanas induksi untuk pengerasan permukaan dapat diberikan pada komponen alat-alat berat yang saat ini banyak sekali digunakan di Indonesia. Dalam beberapa tahun terakhir, Departemen Teknik Mesin UNDIP meneliti dan mengembangkan teknik pengerasan permukaan menggunakan alat pemanas induksi [10-4]. Kegiatan penelitian menggunakan alat induksi dapat dikembangkan untuk teknologi pengerasan permukaan seperti *quenching* dan *tempering* untuk

8 November 2017

komponen *bucket teeth* excavator. Hal ini diharapkan dapat memperpendek waktu pemanasan yang dibutuhkan dan energi yang digunakan saat proses pemanasan.

KESIMPULAN

Dari beberapa pengujian dan analisa yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa material *bucket teeth* IKM UNDIP mendekati dengan nilai SNI. Kekurangan didapatkan pada paduan unsur-unsur tambahan lain yang jumlahnya masih perlu dikurangi. Nilai kekuatan tarik meningkat akibat perlakuan panas *quenching* media oli dari 734,87 MPa (*as cast*) menjadi 1216,01 MPa (*quenched*) kemudian menurun akibat perlakuan panas *tempering* menjadi 1041,96 MPa (*tempered*). Nilai elongasi juga meningkat dari 8,62% (*as cast*) menjadi 13,82 % (*quenched*) kemudian setelah *tempering* menjadi 21,17 % (*tempered*). Nilai kekuatan impak meningkat akibat *quenching* dan *tempering* secara berurutan 0,093 J/mm² (*as cast*), 0,121 J/mm² (*quenched*) dan 0,234 J/mm² (*tempered*). Hasil pengujian tarik dan impak material *bucket teeth* setelah proses *tempering* sudah memenuhi ambang batas SNI. Dengan demikian *bucket teeth* produk IKM UNDIP dibutuhkan memodifikasi komposisi unsur untuk memenuhi SNI secara penuh. Hasil ini sangat menggembirakan bagi IKM karena IKM memiliki harapan untuk menghasilkan produk *bucket teeth* yang dapat memenuhi SNI dan dapat bersaing kualitasnya di pasaran. Proses perlakuan panas terbaik yang direkomendasikan untuk IKM pengecoran *bucket teeth* adalah *quenching* dengan temperatur 900 °C dan ditahan di dalam tungku pemanas selama 30 menit kemudian didinginkan secara cepat pada quenchant oli. *Tempering* dilakukan dengan memanaskan material di suhu 250 °C dan ditahan di dalam tungku selama 45 menit selanjutnya didinginkan pada suhu ruangan.

ACKNOWLEDGMENTS

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada mahasiswa lain yang telah terlibat dalam kegiatan ini, Aditya Gamma dan Pangih Laksono serta kepada mitra IKM pengecoran logam di Ceper Klaten atas bantuan melakukan proses pengecoran yang mengikuti SOP tim UNDIP. Selain itu tim peneliti juga menyampaikan terima kasih atas pendanaan penelitian yang bersumber dari skim RAPID Kementerian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Tahun 2017.

REFERENSI

1. Yayasan Karya Bakti United Tractors, *Product Knowledge Basic Course I*, (United Tractors School, Jakarta, 2008)
2. Komatsu, *Fact Book* (Global Team Work, Jepang, 2010).
3. Badan Standarisasi Nasional, *Bucket teeth* Ekskavator, SNI 8050:2014.
4. V.A. Mayer, S.A. Arendt, dan S.J. Bailey, *Annual Book of ASTM Standards Section 3 Metals Test Methods and Analytical Procedures*, (ASTM International, USA, 2006)
5. W.D. Callister, dan D.G. Rethwisch, D. G. *Materials Science and Engineering an Introduction Eight Edition*. (John Wiley & Sons, Inc, USA, 2010)
6. H.E. Bowyer, *Practical Heat Treating* (American Society for Metal, USA 1987).
7. R.E. Haimbaugh, *Practical Induction Heat Treating*. (ASM International, USA, 2001)
8. J.M. Schneider, "Introduction to Surface Hardening of Steels Heat Treating, Vol 4," in *ASM Handbook*. (ASM International, USA, 19910, p 259–267.
9. H.E. Bowyer: *Practical Heat Treating* (American Society for Metal, USA 1987).
10. R. Ismail, M. Tauviqirrahman, S. Sugiyanto, J. Jamari, "Pemanfaatan Mesin Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Permukaan Roda Gigi Produk UKM," *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan* (Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, 2011)
11. R. Ismail, E. Yohana, M. Tauviqirrahman, A.P. Bayuseno, "Aplikasi Teknik Continuous Hardening Menggunakan Alat Pemanas Induksi Untuk Pengerasan Pin," *Symposium Nasional RAPI XIII* (Fakultas Teknik UMS, Surakarta, 2014)
12. R. Ismail, D.I. Prasetyo, M. Tauviqirrahman, E. Yohana, dan A.P. Bayuseno, *Advanced Materials Research*, **Vol. 911** 210-214 (2014)
13. A.P. Bayuseno, E. Yohana, M. Dzulfikar, D.I. Prasetyo, M. Khafidh, dan R. Ismail, "Pengaruh *Tempering* Menggunakan Pemanas Induksi Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Material Baja ST-60 pasca-*quenching*" *Seminar Nasional Teknik Mesin* (Universitas Trisakti, Jakarta 2014).

8 November 2017

**Analisa Efektifitas *Polyethylene* Dan *Polypropylene* Sebagai *Top Coat* Pada Metode Pelapis
3 Layer Coating Terhadap Ketahanan Korosi Dari Baja API 5L Grade B**

A. Purniawan^{1A}, Y. S. M. Siahaan¹, & B. A. Kurniawan¹¹Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS) Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : agung_pur@mat-eng.its.ac.id***Abstrak***

Sistem perpipaan memiliki peranan sangat penting di industri minyak dan gas. Sebagian besar jaringan pipa menggunakan baja sebagai material komponennya sehingga sangat rentan terdegradasi akibat peristiwa korosi yang disebabkan oleh lingkungannya. Salah satu metode untuk melindungi pipa dari korosi adalah dengan menggunakan metode pelapisan (*coating*). Pada penelitian ini, *multi-layer coating* dari bahan *polyethylene* dan *polypropylene* digunakan sebagai *top coat*, dimana metode ini memiliki berbagai kelebihan dan mampu untuk menutupi keterbatasan dari metode *single-layer coating*. Berdasarkan pengujian uji sembur kabut garam, pelapis *epoxy*, *polyethylene*, dan *polypropylene* memiliki efektivitas terhadap ketahanan korosi yang baik dimana ketiga lapisan tersebut mendapat *rating* 9. Sedangkan pada pengujian *pull-off test*, lapisan epoksi memiliki rata-rata nilai adhesi paling besar, yaitu 4.67 Mpa, hal ini dikarenakan pada lapisan *polyethylene* dan *polypropylene* mengalami *cohesive* dan *glue failure* pada saat pengujian. Melalui pengamatan secara visual, *polypropylene* memiliki ikatan antar lapisan yang lebih baik, dikarenakan pada permukaan substratnya terdapat *mechanical interlocking* pada daerah *interface* yang meningkatkan kekuatan adhesinya.

8 November 2017

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri khususnya industri minyak dan gas, baja merupakan suatu material yang banyak diaplikasikan. Faktor yang membuat baja umum untuk diaplikasikan adalah dikarenakan baja memiliki sifat mekanik yang baik, fabrikasi yang mudah dan dengan harga yang relatif rendah. Namun sama halnya dengan material lain, baja dapat mengalami suatu penurunan kualitas (*deterioration*). Salah satu faktor penyebab menurunnya kualitas dari baja adalah adanya peristiwa korosi, dimana korosi merupakan suatu proses degradasi dari material yang diakibatkan dari adanya reaksi kimia pada permukaan logam dengan komponen agresif dari lingkungan dimana baja tersebut berada [1]. Sebagian besar jaringan pipa akan mengangkut serta memindahkan produk minyak dan gas dalam jarak yang relatif jauh. Pada umumnya struktur jaringan pipa sebagai penopang proses eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi dapat berlokasi didarat (tanah) maupun didaerah laut (*marine*). Namun tingkat korosifitas tanah yang bervariasi dari suatu geografis yang berbeda, serta tingkat korosifitas lingkungan laut yang tinggi membuat permasalahan korosi menjadi kompleks. Untuk mencegah terjadinya korosi terutama dibagian eksternal pada pipa, diperlukannya suatu metode untuk memproteksi baja dari lingkungannya. Salah satunya adalah dengan aplikasi *coating* dengan pelapis organik. *Organic coatings* merupakan suatu bentuk perlindungan dari korosi yang terletak diantara permukaan baja dengan lingkungan yang korosif. Pelapis tersebut akan menjaga daya tahan dari struktur baja dan akan memberikan ketahanan terhadap kelembaban, abrasi, reaksi kimia serta meningkatkan ketangguhan. Efisiensi dari *organic coatings* dipengaruhi oleh sifat mekanik dari sistem pelapisannya, perlakuan dan persiapan dari permukaan, serta daya ikatan antara material *coating* dengan permukaan logam (*adhesion*).

Pelapis organik sebagai lapisan pelindung harus memiliki permeabilitas yang rendah, stabilitas terhadap korosi yang baik, serta daya tahan dalam periode waktu yang cukup lama [2]. Terdapat beberapa jenis metode aplikasi *organic coatings*, diantaranya adalah *single-layer coating* dan *multi-layer coating*. Pelapis dengan lapisan tunggal digunakan untuk melindungi pipa dari korosi pada kondisi yang statis, dan pada kondisi lingkungan yang stabil seperti didalam tanah yang mengandung tanah liat (*clay*) atau pasir.

8 November 2017

Pelapis dengan tambahan lapisan di atasnya digunakan untuk memberikan perlindungan tambahan pada pipa agar dapat stabil dalam lingkungan yang memiliki tingkat korosifitas yang tinggi, kondisi tanah yang berkapur atau berbatu serta dapat diaplikasikan pada pipa dengan temperatur operasional yang tinggi. Single-layer coating tentunya memiliki keterbatasan dan tidak dapat menyediakan semua sifat yang dibutuhkan oleh pipa dalam berbagai kondisi operasi. Oleh karena itu penambahan lapisan dengan metode *multi-layer coating* diperlukan untuk menutupi keterbatasan dari metode *Single-layer coating*. *Multi-layer coating* yang umum digunakan di dalam industri minyak dan gas adalah *three-layer polyethylene coating* (3LPE) dan *three-layer polypropylene coating* (3LPP), dimana terdiri dari 3 jenis lapisan yang berbeda. Lapisan pertama berupa *epoxy* sebagai lapisan *primer*, lapisan kedua berupa *adhesive* sebagai lapisan perantara, dan lapisan ketiga berupa *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai *top coat* [3].

Dalam industri minyak dan gas aplikasi coating dengan metode seperti *multi-layer coating* pada *pipeline* membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Tentunya *multi-layer coating* memiliki kelebihan dan dapat menutupi keterbatasan yang dimiliki *single-layer coating*. Namun apakah bahan *polyethylene* atau *polypropylene* sebagai *top coat* cukup efektif terutama dalam hal perlindungan dari korosi? Untuk menjawab pertanyaan tersebut penelitian ini dilakukan untuk menganalisa efektifitas *polyethylene* dan *polypropylene* sebagai *top coat* pada metode *three-layer coating* terhadap ketahanan korosi pada pipa baja API 5L Grade B.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Preparasi Spesimen

A.1 Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan baja API 5L Grade B, yang di potong dengan ukuran 50x30x3 mm.

A.2 Persiapan Permukaan

Baja dibersihkan dengan standard SSPC (*Steel Structures Painting Council*) dengan tahap pembersihan sebagai berikut :

8 November 2017

- (5) Membersihkan permukaan dari karat, *mill scale* dan pengotor lain dengan menggunakan *hand tool cleaning* dan *power tool cleaning*. Dilanjutkan dengan pembersihan *slag*, *spatter*, atau *scrap* hasil pemotongan sesuai dengan standar SSPC-SP3.
- (6) Melakukan *degreasing* untuk menghilangkan minyak, debu, dan pengotor yang menempel dengan menggunakan air sabun dan kemudian dikeringkan (SSPC-SP1).
- (7) Melakukan proses *blasting* sesuai dengan standar SSPC-SP10 (*near white blast cleaning*) [4] untuk mendapatkan kebersihan dengan nilai SA 2 pada spesimen yang akan diuji dengan pengujian sembur kabut garam, pengujian adhesi dan pengujian ketahanan panas. Proses sand blasting ini dilakukan pada permukaan sampel uji dengan menggunakan partikel *aluminium oxide* berbentuk bulat sampai mendapatkan nilai kebersihan SA 2 .

A.3 Kondisi Lingkungan

Memastikan keadaan lingkungan saat aplikasi *coating* sesuai dengan rekomendasi dan prosedur. Tahapan dalam proses ini adalah pengukuran temperatur udara menggunakan *thermometer* merkuri dan temperatur plat dengan menggunakan *magnetic surface thermometer*; pengukur kelembaban udara dengan digital *electronic hygrometer (Relative Humidity)* dimana maksimal angka yang diperbolehkan adalah 85%. Dan pengukuran *dew point*, dimana yang direkomendasikan adalah diatas 23°C diatas temperatur permukaan substrat atau spesimen.

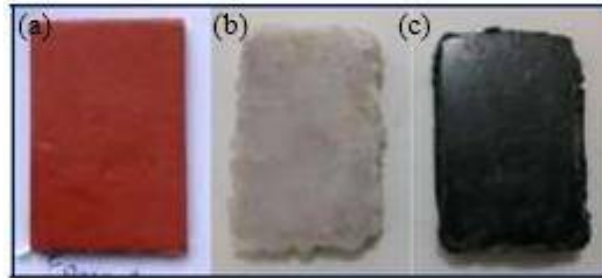
A.4 Proses Pelapisan

Proses pelapisan cat (*coating*) dilakukan dengan metode yang berbeda tiap lapisannya. Dimana lapisan pertama yaitu lapisan *epoxy* menggunakan metode *conventional spray*, lapisan kedua berupa lapisan *adhesive* dengan metode *hand lay-up* menggunakan kuas, dan *top coat* berupa lapisan *polyethylene* dan *polypropylene* menggunakan metode peleburan *pellet* masing-masing bahan didalam *furnace*.

4. Lapisan pertama yaitu lapisan *epoxy*, menggunakan *conventional spray* sehingga mencapai *Wet Film Thickness (WFT)* yang diinginkan yaitu 150 μm , 200 μm , dan 250 μm .
5. Lapisan kedua yaitu lapisan *adhesive* dengan resin dan hardener adhesive dengan merek *Araldite* yang dicampurkan dengan rasio 1:1 dan diaplikasikan dengan metode kuas untuk mendapatkan ketebalan $\pm 150 \mu\text{m}$ [5].

8 November 2017

Lapisan ketiga menggunakan bahan *pellet polyethylene* dan *polypropylene* yang dileburkan diatas lapisan *adhesive* didalam *muffle furnace* dengan temperatur 150°C selama kurun waktu 15 menit-20 menit. Ketebalan pada lapisan ini adalah $\pm 600 \mu\text{m}$



Gambar 1. Hasil Coating (a) Epoxy, (b) Polyethylene dan (C) Polypropylene

B. Pengujian Sembur Kabut Garam

Pengujian uji sembur kabut garam ini mengacu pada standar ASTM B117 (*Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*) [6] dan dilakukan secara konsisten dan berkesinambungan didalam *salt spray chamber* selama 96 jam. Elektrolit yang dipakai dalam pengujian ini adalah NaCl dengan konsentrasi 3,5% dimana 35,24 gram serbuk NaCl akan dilarutkan kedalamn setiap 1000 ml aquades. Didalam *salt spray chamber* sampel uji akan diletakan diatas penampang akrilik yang diposisikan membentuk sudut 30° terhadap bidang horizontal dan sejajar dengan arah aliran kabut garam. Berdasarkan pengujian ini metode yang digunakan untk mengetahui ketahanan korosinya yaitu dengan metode goresan (*scratch*).

B.1 Metode *Scratch*

Spesimen diberi goresan dengan menggunakan *tool steel* dengan lebar $\pm 1 \text{ mm}$. Hasil selisih pelebaran goresan sebelum dan setelah pengujian dibandingkan dengan tingkatan ketahanan korosi berdasarkan standar ASTM D1654 (*Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*) [7]

5. Pengujian Kekuatan Adhesi

Pengujian ini menggunakan metode pengujian *Pull Off Test* dan mengacu pada standar ASTM D4541 (*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*) [8].

8 November 2017

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tarik pada lapisan *coating* dengan perantara *dolly* yang telah ditempelkan pada permukaan *coating*. *Dolly* yang menempel dipermukaan akan mengeras minimal dalam kurun waktu 12 jam. Setelah jangka waktu tersebut, alat uji adhesi akan memberikan beban tarik pada *dolly* sehingga menyebabkan lapisan yang telah berikatan pada *dolly* tertarik dari substrat.

5. Pengujian Ketahanan Panas

Pengujian ini dilakukan pada sampel dengan lapisan bepoksi dengan memasukan sampel uji tersebut kedalam *muffle furnace* dengan temperatur sebesar 150°C dalam kurun waktu 15 menit. Setelah pengujian dilakukan, sampel uji tersebut kemudian dianalisa kondisi permukaannya secara visual serta di uji kekuatan adhesinya dengan menggunakan metode *pull-off test*.

E. Analisa Morfologi

Analisa ini dilakukan secara visual menggunakan *stereo microscope* pada bagian *cross-sectional* sampel uji dengan perbesaran (20x). Adapun sebelum dilakukan pengujian ini, sampel uji dipotong terlebih dahulu sehingga bagian *cross-sectionalnya* dapat terlihat. Kemudian sampel uji diletakan tepat dibawah sinar yang dikeluarkan oleh *stereo microscope* untuk selanjutnya perbesaran serta fokusnya diatur pada daerah yang ingin di analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Kekuatan Adhesi

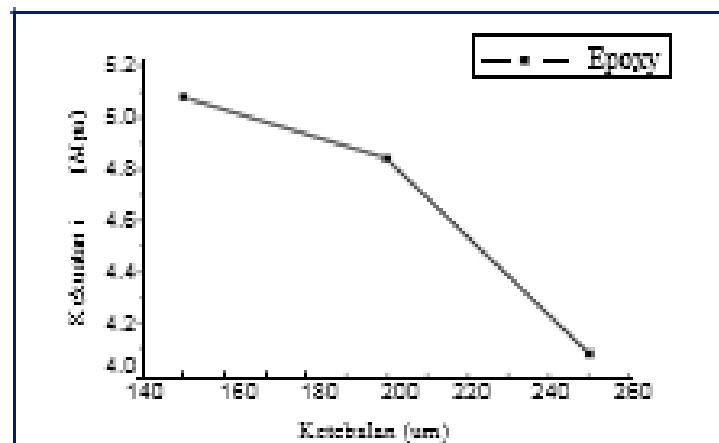
Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekuatan Adhesi

Sampel Uji	Ketebalan Coating (µm)	Kekuatan Adhesi (Mpa)	Kategori Failure
Epoxy	150	5.08	Adhesive Failure
	200	4.84	Adhesive Failure
	250	4.08	Adhesive Failure
Polystyrene	950	2.08	Cohesive Failure
	1000	1.57	Cohesive Failure
	1050	1.51	Cohesive Failure
Polypropylene	950	3.01	Adhesive Failure
	1000	1.65	Cohesive Failure
	1050	1.22	Glue Failure

8 November 2017

Pada pengujian ini besarnya beban tarik yang menyebabkan lapisan terlepas dari substratnya merupakan nilai dari kekuatan adhesi dari lapisan tersebut. Pada saat lapisan terlepas dari substrat, maka kerusakannya dapat dikategorikan sebagai *adhesion failure*. Sedangkan pada saat terdapat bagian dari lapisan yang terangkat, maka dapat dikategorikan sebagai *cohesive failure*.

Lapisan epoksi dengan ketebalan terendah yaitu 150 μm , memiliki kekuatan adhesi paling baik dengan nilai sebesar 5,08 Mpa. Sedangkan pada ketebalan paling tinggi yaitu 250 μm , memiliki nilai kekuatan adhesi sebesar 4,08 Mpa. Dalam hal ini melalui **Gambar 2** mengenai grafik nilai kekuatan adhesi dari lapisan epoksi, dapat diketahui bahwa grafik kekuatan adhesi pada lapisan epoksi menunjukkan tren yang menurun seiring bertambahnya ketebalan lapisan.

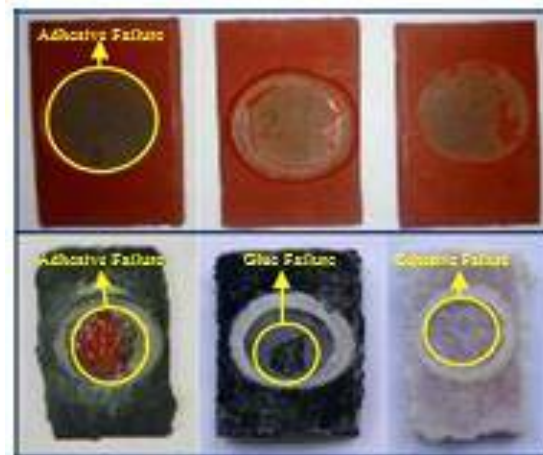


Gambar 2. Grafik Kekuatan Adhesi Pada Lapisan *Epoxy*

Sedangkan pada pelapis *polyethylene* dan *polypropylene*, menunjukkan bahwa dari hasil yang diperoleh terdapat masing-masing satu sampel uji *polypropylene* yang mengalami *adhesive failure* dan *glue failure*, sedangkan sampel uji lainnya dikategorikan sebagai *cohesive failure*. *Cohesive Failure* dapat terjadi karena dipengaruhi oleh kerapatan dan jarak partikel di dalam bahan pelapis. Hal ini juga menandakan bahwa ikatan *crosslinking* pada partikel yang terdapat dalam bahan pelapis lebih lemah jika dibandingkan dengan ikatan yang terjadi antara bahan pelapis dengan substrat. Selain itu *cohesive failure* yang terjadi pada pengujian ini dapat disebabkan karena adanya mekanisme *mechanical interlocking* dikarenakan proses persiapan permukaan yang diterapkan.

8 November 2017

Kekasaran permukaan yang baik akan menghasilkan celah yang dapat dimanfaatkan oleh bahan pelapis untuk melakukan penetrasi sehingga dapat mengikat substrat dengan baik. Sampel uji yang mengalami *cohesive failure* khususnya bahan *polyethylene* sebagai *top coat* dipengaruhi oleh ketebalan dari bahan pelapis tersebut. Semakin tebal lapisannya, maka nilai kekuatan adhesinya akan menurun

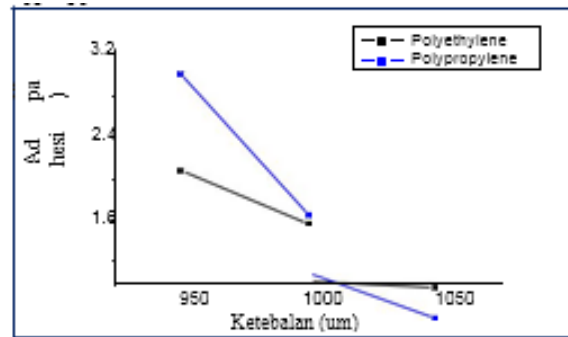


Gambar 3. Failure pada sampel uji

Pada sampel uji dengan bahan *polypropylene*, terdapatnya perbedaan jenis *failure* yang terjadi juga menyebabkan variasi nilai kekuatan adhesinya. Dimana nilai yang terbesar dihasilkan pada saat sampel mengalami *adhesive failure* yaitu sebesar 3,01 Mpa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kurang kuatnya ikatan yang terjadi antara *polypropylene* sebagai *top coat* dengan lapisan *adhesivenya*, baik akibat kurang meratanya proses pelapisan lapisan kedua maupun kurang meratanya distribusi beban pada saat proses pelapisan. Nilai terkecil pada saat sampel uji adalah sampel yang mengalami kegagalan pada lem (*glue failure*) yaitu sebesar 1,22 Mpa yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah proses preparasi metode *pull-off test*, baik dalam proses pencampuran lem dan proses penempelan *dolly*. Pencampuran rasio lem yang tidak tepat dapat mengakibatkan daya rekat lem menjadi berkurang serta proses pengeringannya menjadi lebih lama dari waktu normal. Daya rekat lem yang tidak cukup baik mengakibatkan pada saat pengujian *pull-off tests* dilakukan, beban tarik yang diberikan hanya mampu menarik lapisan lem itu sendiri.

8 November 2017

Faktor lainnya adalah permukaan sampel uji yang tidak rata sepenuhnya sehingga daya rekat lem dengan dolly tidak dapat terbentuk dengan baik. Grafik pada **Gambar 4** menunjukkan perbandingan kekuatan adhesi antara bahan *polyethylene* dan *polypropylene*.



GAMBAR 4. Grafik kekuatan adhesi *polyethylene* and *polypropylene*

Tabel 2. Kekuatan Adhesi Setelah Uji Sembur Kabut Garam

Sampel Uji	Kekuatan Adhesi (Mpa)		Rata-Rata	Kategori
	Depan	Belakang		
<i>Epoxy</i> (200 μm)	4.52	4.23	4.375	Adhesiv e
<i>Polyethylene</i> (1000 μm)	1.55	1.47	1.47	Cohesiv e
<i>Polypropylene</i> (1000 μm)	2.28	1.94	1.94	Cohesiv e

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa pengujian sembur kabut garam tidak terlalu mempengaruhi kekuatan adhesi dari sampel uji. Dari dua titik pengujian di masing-masing sampel uji, rata-rata nilai kekuatan adhesinya tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan nilai adhesi pada saat sampel tidak diuji dengan pengujian sembur kabut garam. Dimana rata-rata nilai kekuatan adhesi pada pelapis epoksi setelah uji sembur kabut garam adalah sebesar 4,375 Mpa. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan adhesi pada pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* masing-masing adalah sebesar 1,47 dan 1,94 Mpa Kekuatan adhesi pada sampel uji sangat dipengaruhi oleh reaksi yang terjadi pada daerah *interface* antara pelapis dengan substrat. Permukaan pelapis yang terekspos terus menerus oleh kondisi lingkungan yang korosif didalam *salt spray chamber*, memungkinkan berbagai macam kontaminan seperti uap air, oksigen dan zat-zat lainnya, akan masuk ke dalam lapisan *interface*.

8 November 2017

Dimana hal tersebut merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan ikatan antara pelapis dengan substrat perlahan rusak seiring berjalannya waktu , sehingga dapat menyebabkan turunnya nilai adhesi. Tidak adanya perubahan yang signifikan dari hasil pengujian *pull-off test* pada sampel uji sembur kabut garam dapat mengindikasikan bahwa kontaminan dan berbagai molekul-molekul air tidak dapat melakukan penetrasi ke dalam bagian *interface* dari pelapis dengan substrat. Hal ini disebabkan oleh cukup kuatnya kekuatan ikatan (adhesi) antara pelapis dengan substrat yang dihasilkan melalui persiapan permukaan yang baik.

B. Hasil Pengujian Sembur Kabut Garam

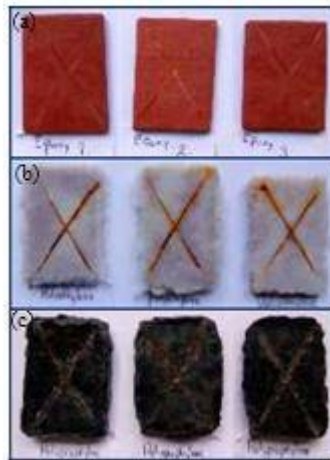
B.1 Metode *Scratch*

Tabel 3. Data Pelebaran Goresan

Sampel Uji	Ketebalan (μm)	Rata-Rata (mm)	Rating
<i>Epoxy 1</i>	150	0.46473	9
<i>Epoxy 2</i>	200	0.40094	9
<i>Epoxy 3</i>	1000	0.33538	9
<i>Polyethylene 1</i>	950	0.17606	9
<i>Polyethylene 2</i>	1000	0.11513	9
<i>Polyethylene 3</i>	1050	0.10719	9
<i>Polypropylene 1</i>	950	0.12099	9
<i>Polypropylene 2</i>	1000	0.10691	9
<i>Polypropylene 3</i>	1050	0.07264	9

Pengaruh dari semburan kabut garam akan menimbulkan kerusakan yang lebih cepat pada sampel uji. Goresan pada lapisan hingga permukaan substrat yang telah dibuat sebelumnya berfungsi sebagai tempat inisiasi korosi. Dimana inisiasi dari korosi akan terjadi dibawah sisi lapisan yang rusak maupun pada bagian sisi dekat lapisan yang rusak. Umumnya daerah inisiasi korosi terjadi pada bagian bawah lapisan, hal ini diakarenakan terkonsentrasinya larutan akibat pengaruh grafitasi.

8 November 2017



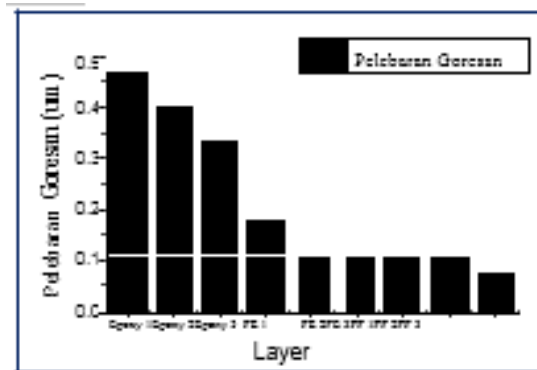
Gambar 5. Spesimen Hasil Pengujian Sembur Kabut Garam.

(a) *Epoxy*, (b) *Polyethylene*, (c) *Polypropylene*

Berdasarkan data pada **Tabel 2** dapat diketahui bahwa keseluruhan sampel uji memiliki rata-rata pelebaran berkisar di angka 0 sampai 0,5. Hal tersebut menandakan bahwa keseluruhan bahan pelapis dikategorikan memiliki nilai rating 9 Pada pelapis epoksi rata-rata pelebaran terbesar dimiliki oleh pelapis yang memiliki ketebalan 150 μm dengan nilai pelebaran sebesar 0,46473mm dan pelebaran terkecil adalah pelapis dengan ketebalan 250 μm dengan nilai 0,33538 μm . Sedangkan pada bahan pelapis *polyethylene* dan *polypropylene*, nilai pelebarannya jauh lebih kecil. Dimana rata-rata pelebaran terbesar dari pelapis *polyethylene* dengan ketebalan 950 μm , memiliki nilai pelebaran sebesar 0,17606 mm dan rata-rata nilai pelebaran terbesar dari bahan pelapis *polypropylene* sebesar 0,12099 mm. Hal ini menandakan bahwa pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* memiliki ketahanan terhadap rusaknya lapisan akibat lingkungan yang korosif lebih besar jika dibandingkan dengan lapisan epoksi. Selain itu jika dibandingkan rata-rata pelebaran pelapis *polyethylene* dengan bahan pelapis *polypropylene* dengan ketebalan yang sama, dapat diketahui bahwa pelapis *polypropylene* memiliki tingkat ketahanan terhadap lingkungan korosif yang lebih baik, dimana rata-rata pelebaran pelapis *polypropylene* memiliki nilai pelebaran yang lebih kecil dibandingkan dengan *polyethylene*.

8 November 2017

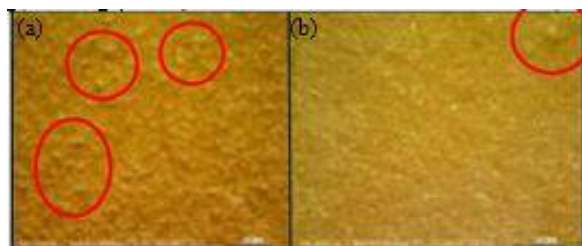
Kerusakan pada lapisan umumnya terjadi pada bahan pelapis dengan ketebalan yang lebih tipis. Hal ini terjadi dikarenakan adanya pengaruh kecepatan masuknya molekul-molekul seperti air dan oksigen menuju kedalam daerah *interface*, yaitu daerah antara lapisan dengan substrat atau permukaan logam. Semakin tipis tebal lapisan, maka semakin cepat molekul-molekul tersebut untuk melakukan penetrasi melalui celah yang terjadi akibat goresan yang diberikan, sehingga dapat dengan mudah menjangkau daerah *interface* bahan pelapis dengan substrat. Hal tersebut sesuai dengan nilai rata-rata pelebaran pada pelapis epoksi, dimana nilai pelebarannya menjadi berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan. Sesuai dengan grafik pada **Gambar 6**, hal tersebut juga didukung dengan data nilai pelebaran pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* yang semakin kecil dengan bertambahnya ketebalan.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Pelebaran Goresan

B.2 Blister Pada Permukaan Setelah Pengujian

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan pada lapisan epoksi, dapat diketahui bahwa terdapat mekanisme *blistering* pada permukaan lapisan. *Blistering* dapat terjadi diakibatkan adanya konten air yang berhasil masuk kedalam pori-pori lapisan dan terperangkap sehingga menyebabkan terbentuknya suatu pembengkakan dan akhirnya membentuk gelembung (*blister*).



Gambar 7. Blister Pada Permukaan (a) Depan (b) Belakang

8 November 2017

Berdasarkan hasil evaluasi secara visual, seperti pada **Gambar 7**, terdapat perbedaan kondisi di kedua sisi permukaan pada sampel. Pada bagian sisi depan sampel uji, terdapat *blistering* yang tersebar cukup merata pada permukaan. Hal tersebut sangat berlawanan dengan bagian belakang dari sampel uji, dimana hampir tidak terdapat mekanisme *blistering* yang terjadi. Hal ini disebabkan bagian sisi depan dari sampel uji merupakan bagian yang terekspos langsung dengan lingkungan korosif di dalam *salt spray chamber*. Sedangkan sisi belakang sampel uji, merupakan bagian yang terisolasi akibat kontak langsung dengan penampang akrilik. Permukaan epoksi yang kontak langsung dengan lingkungan, memungkinkan molekul air yang memiliki ukuran partikel sangat kecil akan berusaha melakukan penetrasi menembus lapisan *coating*. Adanya larutan garam (NaCl) dari hasil semburan di dalam *chamber* yang menempel pada permukaan lapisan akan menyebabkan sel osmosis terjadi. Sel osmosis terusun atas membran *semipermeable* (pelapis epoksi) yang akan memisahkan larutan konsentrasi tinggi dengan larutan yang memiliki konsentrasi rendah. Hal ini menyebabkan lebih banyak air akan mengalami permeasi ke dalam lapisan sehingga akhirnya terperangkap dan membentuk *blister*. *Blistering* yang terjadi pada lapisan epoksi dapat dikategorikan ke dalam *Blister Size No. 6* dengan persebarannya dalam kategori berkisar antara jarang (*few*) dan sedang (*medium*). Ukuran *blister* yang cukup kecil menandakan bahwa kadar air yang dapat terperangkap sedikit dan tidak terkonsentrasi di satu tempat. Hal ini disebabkan karena kekuatan adhesi antara lapisan epoksi dengan substrat yang cukup baik.

C. Pengujian Ketahanan Panas

Tabel 6. Kekuatan Adhesi Spesimen Uji Ketahanan Panas

Sampel Uji	Temperatur (°C)	Waktu Pemanasan	Kekuatan Adhesi (Mpa)
Epoxy 1	150°C	15 menit	4.59
Epoxy 2			4.71

Parameter dalam pengujian panas ini menurut literatur ialah terbentuknya *pin hole* pada permukaan lapisan *coating* serta adanya pengelupasan lapisan dari substrat. *Pin hole* dapat terjadi akibat adanya gas ataupun uap air yang terperangkap pada permukaan substrat baja pada saat proses aplikasi *coating*.

8 November 2017

Gas-gas tersebut dapat berasal dari bahan-bahan yang mudah menguap, seperti *solvent*. Sedangkan pengelupasan lapisan dapat disebabkan preparasi permukaan yang kurang sempurna ataupun kurang baiknya proses pengeringan dari lapisan *coating (curing)*. Dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama, pelapis epoksi memiliki ketahanan panas yang baik terhadap temperatur tersebut. Saat panas diberikan, pemaparan panas pada lapisan permukaan pelapis akan menyebabkan molekul-molekul yang ada didalam akan ikut meningkat. Sehingga seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan panas, ikatan yang ada didalam pelapis epoksi (kohesi) maupun ikatan antara pelapis dengan substrat (adhesi) akan menjadi lemah. Dikarenakan pada pengujian ini tidak ada lapisan epoksi yang rusak dan tidak ada perubahan yang signifikan terhadap nilai kekuatan adhesinya, maka temperatur 150°C dengan waktu pemanasan 15 menit, merupakan temperatur dan waktu yang masih dapat diaplikasikan pada pelapis epoksi yang digunakan pada penelitian ini.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelapis *polyethylene*, *polypropylene* dan *epoxy* memiliki efektifitas terhadap ketahanan korosi yang baik, dimana ketiga lapisan tersebut mendapat *rating* 9. Pelapis *polypropylene* memiliki pelebaran goresan yang sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan pelapis epoksi dan *polyethylene*, dimana rata-rata pelebaran goresan yang terjadi sebesar 0,1001 mm. Sedangkan rata-rata pelebaran goresan pada lapisan epoksi dan *polyethylene* berturut-turut sebesar 0,1327 mm dan 0,4003mm.
2. Semakin besar ketebalan coating menurunkan nilai adhesinya. Nilai adhesi pada pelapis epoksi sebagai pelapis primer dengan ketebalan 150 μm , 200 μm dan 250 μm berturut-turut adalah 5,08 Mpa, 4,84 Mpa dan 4,08 Mpa. Sedangkan lapisan *top coat polyethylene* dan *polypropylene* memiliki rata-rata nilai pengujian berturut-turut sebesar 1,72 Mpa dan 1,96 Mpa. Tidak sesuai dengan hasil pengujian dengan literatur yang ada disebabkan kategori *failure* yang terjadi pada pelapis *polyethylene* dan *polypropylene* adalah *cohesive* dan *glue failure*. Ketebalan lapisan juga mempengaruhi ketahanan korosi, dimana semakin tebal lapisan, laju korosinya akan semakin kecil

8 November 2017

3. Berdasarkan hasil analisa visual, Permukaan substrat dari masing-masing sampel (3LPE & 3LPP) memiliki kekasaran permukaan yang baik sehingga dapat menghasilkan *mechanical interlocking* yang dapat meningkatkan kekuatan ikatan pada daerah *interface*. Sedangkan ikatan yang terjadi antara lapisan kedua (*adhesive*) dengan *polypropylene* lebih baik jika dibandingkan dengan ikatan antara lapisan *adhesive* dengan lapisan *Polypropylene*. Hal ini disebabkan lebih baiknya sifat adhesi *polypropylene* dibanding *polyethylene*, sehingga dapat berikatan baik dengan lapisan perantara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaesche, H. 2003. *Corrosion of Metals*. New York: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- [2] Popov, B. N. 2015. *Corrosion Engineering Principles and Solved Problems*. South Carolina: Elsevier Inc.
- [3] Guo, B. 2015. *Offshore Pipelines*. Louisiana: Elsevier Inc.
- [4] The Society for Protective Coatings. 2000. SSPC-SP No.10 : *Joint Surface Preparation Standard Near-White Blast Cleaning*. Pittsburgh: The Society for Protective Coatings.
- [5] Bahadori, A. 2015. *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*. USA: Elsevier Inc.
- [6] American Society for Testing and Materials. 2009. *ASTM B 117 : Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*. Pennsylvania: ASTM International.
- [7] American Society for Testing and Materials. 2005. *ASTM D 1654 : Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*. Pennsylvania: ASTM International.
- [8] American Society for Testing and Materials. (2002). *ASTM D 4541 : Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers*. Pennsylvania: ASTM International.
- [9] G.P. Guidetti, G. R. 1996. *The Use of Polypropylene In Pipeline Coatings*. Progress In Organic Coatings, 79-85

8 November 2017

Aplikasi Komposit Polimer Berpenguat Serat Untuk Perbaikan Pipa Kondisi Resiko Tinggi Melalui Pengembangan Perangkat Lunak

Hermawan Judawisastra^{1, A)}, Galih Sekarnurani Setyabrata^{1, B)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung. 40132, Indonesia

a) hermawan.judawisastra@material.itb.ac.id b) sekarsetyabrata@gmail.com

Abstract.

Pressurize components such as pipe are widely used in industrial production flow. Damage of pipeline in high risk condition could cause major loss. Metallic repair methods are commonly used for pipe repair, however it still has some issues. Fiber reinforced polymer composites (FRP) is a new method that can be an alternative for pipe repair because of its corrosion resistance, short repair time, and lighter compared to metallic repair. However, wide variation of composites are available and FRP repair method needs complicated calculation. In this research, software for pipe repair in high risk condition was being developed. Microsoft Visual Studio based on Windows Form Application was used to develop this software with C# programming language based on ASME PCC-2 standard. The software's flow and calculation was validated using excel calculation and pipeline repair case study from an oil and gas company. Software for pipe repair in high risk condition using FRP composites has been developed and validated. Pipeline repair case studies showed minimum repair thickness and weight of the composites repair system were affected by the diameter of the pipe, depth of corrosion, substrate condition, and location of corrosion damage.

Keywords: Pipe Repair, ASME PCC-2, High Risk, Fiber Reinforced Polymer Composites, Visual Studio

PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas, petrokimia, serta energi banyak menggunakan berbagai komponen bertekanan seperti pipa pada alur proses produksinya [1].

8 November 2017

Pipa sering digunakan untuk beroperasi pada lingkungan korosif yang dapat menyebabkan kerusakan internal maupun eksternal yang dapat berupa penipisan, korosi sumuran, *blisters*, *gouges*, *laminations*, retakan arah aksial dan melingkar [2]. Hal ini dapat meningkatkan kemungkinan kegagalan pipa dengan dampak yang selanjutnya dapat mengakibatkan resiko kerugian baik finansial maupun jiwa.

Kondisi resiko pipa terbagi menjadi kondisi resiko rendah (*low risk*) dan kondisi resiko tinggi (*high risk*) [2]. Kondisi resiko ditentukan oleh temperatur dan tekanan operasi komponen, jenis fluida, dan lokasi instalasi komponen. Pipa yang dioperasikan pada kondisi operasi tinggi, fluida yang korosif, dan di daerah padat penduduk akan mengakibatkan kondisi resiko tinggi pada pipa. Pipa dengan kondisi resiko tinggi jika mengalami kegagalan dapat menyebabkan kerugian jiwa maupun finansial yang sangat besar [1].

Untuk mencegah kerugian tersebut, perbaikan pada pipa sangat diperlukan. Metode perbaikan komponen bertekanan dan pipa telah distandarkan dalam ASME PCC-2 [2]. Metode perbaikan dengan menggunakan logam sudah umum digunakan, namun masih memiliki beberapa masalah seperti waktu perbaikan yang relatif lama, dapat beresiko terjadinya ledakan dan perbaikan menggunakan logam tergolong sulit khususnya pada ruang kerja yang terbatas seperti komponen yang terletak di bawah tanah [3]. Metode perbaikan pipa dengan komposit polimer berpenguat serat merupakan metode perbaikan yang relatif baru yang dapat menjadi alternatif dalam perbaikan pipa. Keunggulan penggunaan sistem perbaikan dengan komposit polimer berpenguat serat antara lain waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan relatif cepat dan aman, meningkatkan ketahanan korosi, serta mudah untuk diaplikasikan diruang kerja terbatas [3]. Namun, perbaikan pipa dengan menggunakan komposit polimer berpenguat serat masih memiliki beberapa masalah yaitu pengolahan data yang cukup rumit untuk menentukan ketebalan penambalan. Selain itu, komposit polimer berpenguat serat memiliki variasi jenis yang sangat banyak [3].

Untuk mempermudah proses perbaikan pipa menggunakan komposit polimer berpenguat serat, dibutuhkan suatu perangkat lunak. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikembangkan perangkat lunak untuk perbaikan pipa dengan kondisi resiko tinggi menggunakan komposit polimer berpenguat serat dengan berdasarkan standar ASME PCC-2 tahun 2015.

8 November 2017

MATERIAL DAN METODE

Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Microsoft Visual Studio Community 2015 berdasarkan *Windows Form Application* dengan bahasa pemrograman C#. *Flowchart* dibuat terlebih dahulu sebelum dilakukan pengembangan perangkat lunak berdasarkan standar ASME PCC-2. Evaluasi perbaikan pipa dengan kondisi resiko tinggi dilakukan untuk validasi perhitungan oleh perangkat lunak. Output perangkat lunak berupa ketebalan penambalan, panjang, jumlah lapisan (untuk perbaikan komposit), dan berat sistem perbaikan. Validasi perangkat lunak dilakukan untuk memeriksa kesesuaian algoritma perangkat lunak dengan melakukan variasi jenis kerusakan, ketebalan pipa, lokasi cacat, temperatur operasi, tekanan pipa, dan geometri cacat. Hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil perhitungan yang diperoleh melalui *Microsoft Excel*.

Studi kasus dilakukan dengan menggunakan data dari sebuah perusahaan minyak dan gas (Tabel 1). Pada studi kasus dibandingkan beberapa parameter, yaitu diameter pipa, kondisi dan lokasi cacat korosi pada pipa, material penambal / *patching*, kondisi substrat, lihat Tabel 2. Pipa berada dalam kondisi resiko tinggi. Jenis cacat yang ditinjau adalah penipisan dinding pipa secara merata akibat korosi. Kondisi cacat kecil dan besar menunjukkan tebal sisa pipa sebesar 6 mm dan 2 mm. Variasi substrat adalah pada kondisi elastis (*does not yield*) dan telah mengalami deformasi plastis (*yield*). Tiga jenis material penambal / *patching*, yaitu logam (baja) sleeve B, komposit polimer berpenguat serat gelas (GFRP) dan komposit polimer berpenguat serat karbon (CFRP), digunakan dengan data material seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

TABLE 1. Rangkuman Data Pipa [9]

DESKRIPSI	DATA	DESKRIPSI	DATA
Diameter Pipa	250 mm dan 750 mm	Tekanan desain internal maks. (MPa/psi)	4.8/696.2
Tahun instalasi pipa	1988 dan 1972	Temperatur desain maks. (°C/°F)	75/167
Tahun inspeksi	2012	Tekanan operasi maks. (MPa/psi)	2.3/333.6
Grade pipa	API 5L Grade B	Tekanan operasi min. (MPa/psi)	1.4/203
Kekuatan Yield (MPa/psi)	241/34954	Temperatur operasi maks (°C/°F)	45/113
Ketebalan awal (mm/inch)	7,14/0,28	Temperatur operasi min. (°C/°F)	25/77
Umur desain pipa (tahun)	34 dan 54	<i>Cyclic number</i>	1000
Umur perbaikan (tahun)	10	Fluida berbahaya, ada orang di sekitar pipa	Y A

8 November 2017

TABLE 2. Rangkuman Studi Kasus

Kasus	Diameter Pipa		Kondisi Cacat		Metode Perbaikan			Kategori Substrat		Lokasi Kerusakan Korosi	
	250 mm	750 mm	Kecil	Besar	Komposit		Logam	Not yield	Yield	Eksternal	Internal
					GFRP	CFRP	Sleeve B				
1		+	+				+	+		+	
2	+			+			+	+		+	
3		+		+			+	+		+	
4		+		+	+			+		+	
5		+	+		+			+		+	
6		+		+		+		+		+	
7		+	+			+		+		+	
8		+	+		+			+		+	
9		+	+			+		+		+	
10		+		+		+			+	+	
11		+		+	+				+	+	
12		+		+	+			+			+
13		+		+		+		+			+
14		+		+			+	+			+

TABLE 3. Data Material Penambal [7] [8]

Metode Perbaikan	Logam Baja Sleeve B	Komposit Polimer Berpenguat Serat	
Tipe Material	API 5L Grade B	GFRP	CFRP
Densitas (g/cm^3)	7,8	1,9	1,6
Kekuatan arah hoop (MPa)	241	153	755
Kekuatan arah axial (MPa)	241	138	188
Kekakuan arah hoop (MPa)	200.000	14.400	67.000
Kekakuan arah axial (MPa)	200.000	9.100	14.700
Tebal lapisan (mm)	-	2,1	0,49

HASIL DAN PEMBAHASAN

Antarmuka Perangkat Lunak

Perangkat lunak telah berhasil dibuat dan tampilan antar muka ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Hasil perhitungan dari perangkat lunak berupa ketebalan, jumlah lapisan, panjang dan berat komposit yang akan digunakan sebagai penambal / *patching*.

8 November 2017

The screenshot shows the ASME PCC 2 software interface. It is divided into several sections:

- Project Data:** Fields for Company, Contact, Date (Thursday, May 18, 2017), and Name.
- Pipe Data:** Fields for Category (Piping/Pipeline), Pipeline/Piping Segment, Line Number, Pipeline Km Post, Pipe Grade, Yield Strength (MPa), External Diameter (mm), Initial Thickness (mm), Corrosion/Erosion Rate (mm/year), and Actual Thickness (mm).
- Design Data:** Fields for Internal Design Pressure (Max/Min in MPa) and Design Temperature (Max/Min in °C).
- Operating Data:** Fields for Operating Pressure (Max/Min in MPa), Operating Temperature (Max/Min in °C), Cyclic Number (Cycles), and External Load.
- Pipe Defect:** Fields for Type of Defect (General Wall Thinning), Thinning Location, Remaining Thickness (mm), Defect Size (Length, Width, Diameter in mm), and Location of Defect.
- Risk Parameter:** Checkboxes for non-hazardous fluids, non-IDLH fluids, and not critical to the safety of workers.
- Figure of Defect:** A diagram showing a pipe with a defect, labeled with Remaining Thickness and Length of defect.
- Information:** Fields for Type of Repair (Metallic/Non-Metallic), Repair Method, and Life of Repair (year).

GAMBAR 1. Antarmuka Form Umum

The screenshot shows the Non-Metallic Repair software interface. It is divided into several sections:

- High Risk:**
 - Load Data:** External Load (0 MPa), Soil Unit Weight (0 MPa), Buried Depth (0 mm), and F external (0 N).
 - Pipe Data:** Substrate (not Yield/Substrate Yield/Short Term Application), α substrate (0 °C⁻¹), MAWP (0 MPa), T Installation (0 °C), and E substrate (0 MPa).
- Composite Data:** Composite Brand, Composite Type, Ply Thickness (0 mm), E aksial (0 MPa), E circumferential (0 MPa), Vcs (0 MPa), G31 (0 MPa), Toughness Parameter (0 radian), Tg (0 °C), α circumferential (0 °C⁻¹), α aksial (0 °C⁻¹), ϕ (0 radian), and Density of composite (0 g/cm³).
- Low Risk:**
 - Pipe Data:** Repair Design Pressure (0 MPa).
 - Composite Data:** Composite Brand, Composite Type, Ply Thickness (0 mm), Tensile Strength Hoop (0 MPa), Tensile Strength Axial (0 MPa), and Density of composite (0 g/cm³).
- Result:** A large empty box for displaying the results of the calculation.

GAMBAR 2. Antarmuka Form Perbaikan Komposit

Hasil Validasi Algoritma dan Studi Kasus

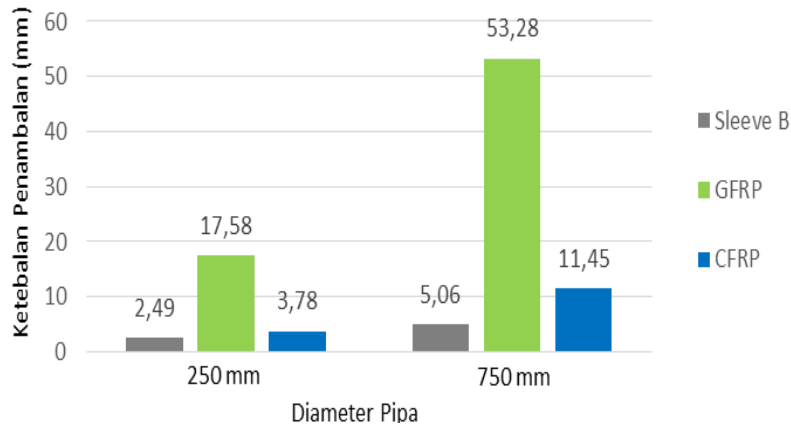
Alur dan hasil perhitungan perangkat lunak telah dibandingkan dengan hasil perhitungan melalui *Microsoft Excel* dengan hasil menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, maksimum 5%, disebabkan oleh adanya pembulatan angka pada batasan perhitungan iterasi oleh perangkat lunak.

Pengaruh Diameter Pipa

Pengaruh diameter pipa pada ketebalan penambalan ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai ketebalan penambalan dengan logam *sleeve B* serta komposit GFRP, dan CFRP untuk pipa berdiameter 750 mm lebih tinggi dibanding pipa berdiameter 250 mm. Ketebalan penambalan yang lebih tinggi diperlukan untuk mengkompensasi kenaikan tegangan.

8 November 2017

Nilai tegangan pada dinding pipa bertekanan berbanding lurus dengan besar diameter pipa sehingga tegangan akan meningkat seiring kenaikan ukuran diameter.



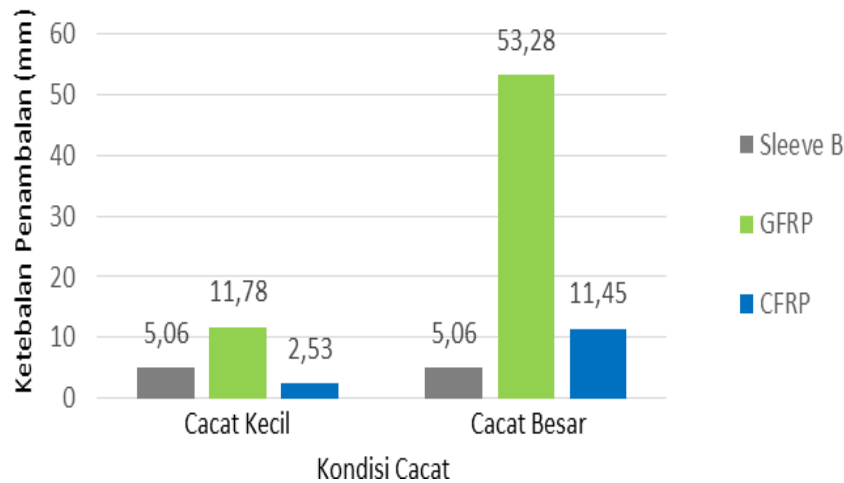
GAMBAR 3. Pengaruh Diameter Pipa pada Ketebalan Penambalan

Nilai ketebalan penambalan pipa dengan diameter yang sama (250 mm atau 750 mm) secara berurutan dari besar ke kecil adalah GFRP, CFRP, dan logam. Hal ini disebabkan oleh kekakuan arah melingkar GFRP (14,4 GPa) yang lebih rendah dari CFRP (67 GPa) dan logam (200 GPa). Kekakuan hasil konstruksi hasil penambalan harus sama dengan kekakuan pipa yang ditambal. Perbedaan kekakuan antara hasil penambalan dan substrat pipa dengan kondisi resiko tinggi mengakibatkan adanya konsentrasi tegangan yang besar yang dapat berakibat pada kerusakan di daerah penambalan. Oleh karena itu, material penambal dengan kekakuan rendah akan membutuhkan ketebalan lebih tinggi untuk menyamai kekakuan pipa yang ditambal [4].

Pengaruh Kondisi Cacat Korosi

Pengaruh kondisi cacat pada ketebalan penambalan ditunjukkan pada Gambar 5. Penambalan pipa dengan logam untuk kondisi cacat besar dan kecil akibat korosi eksternal memiliki nilai ketebalan yang sama. Korosi masih dapat terjadi setelah perbaikan dengan penambalan logam dilakukan, sehingga perhitungan untuk kedua kondisi cacat dibuat berdasarkan *maximum allowable design pressure*. Oleh sebab itu tebal sisa pipa akibat kondisi korosi yang berbeda tidak berpengaruh dalam penentuan ketebalan penambalan dengan material logam.

8 November 2017



GAMBAR 4. Pengaruh Kondisi Cacat pada Ketebalan Penambalan

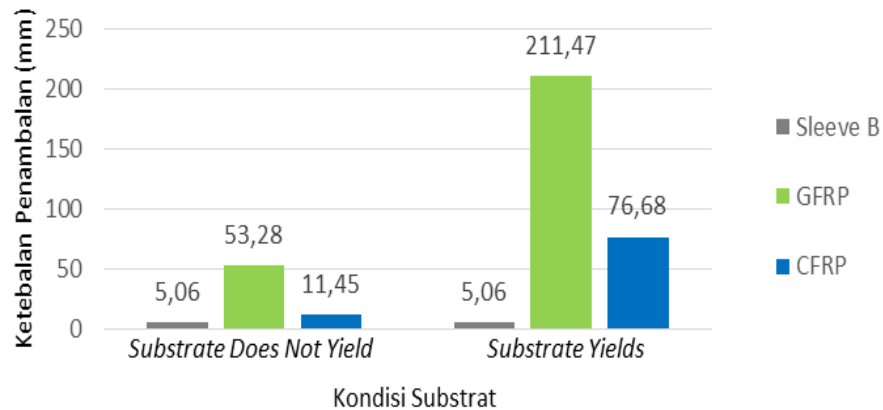
Nilai ketebalan penambalan menggunakan komposit GFRP maupun CFRP untuk kondisi cacat besar lebih tinggi dibanding cacat kecil. Ketebalan penambalan dengan komposit didesain berdasarkan *maximum allowable working pressure* (MAWP). Pipa dengan cacat besar memiliki tebal sisa pipa yang kecil, sehingga MAWP juga semakin kecil. Konsekuensinya, ketebalan penambalan akan semakin tinggi.

Pada kondisi cacat kecil, ketebalan penambalan dengan GFRP lebih tinggi dibanding logam maupun CFRP. Hal ini diakibatkan oleh kekakuan melingkar GFRP lebih rendah dibandingkan dengan CFRP ataupun kekakuan logam.

Pengaruh Kondisi Substrat

Pengaruh kondisi substrat terhadap ketebalan penambalan ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai ketebalan penambalan dengan logam sama untuk kondisi substrat berbeda. Hal ini dikarenakan perbaikan logam didesain berdasarkan *maximum allowable design pressure*. Sehingga, ketebalan penambalan pada kondisi kondisi pipa yang telah mengalami deformasi plastis (*substrate yields*) tidak berpengaruh karena telah mampu menahan tegangan tanpa kontribusi substrat.

8 November 2017



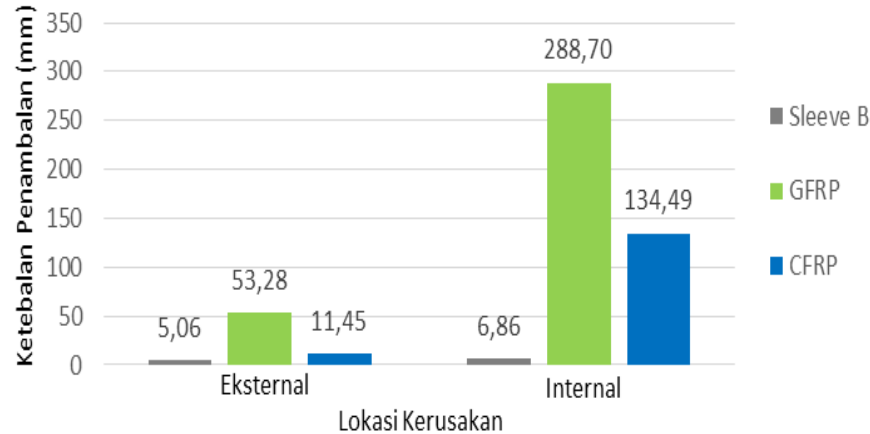
GAMBAR 5. Pengaruh Kondisi Substrat pada Ketebalan Penambalan

Ketebalan penambalan dengan komposit CFRP maupun GFRP untuk kondisi *substrate yield* lebih tinggi dibandingkan kondisi *substrate does not yield*. Perbaikan dengan komposit untuk kondisi *substrate does not yield* menganggap substrat berkontribusi dalam menahan beban sehingga kekakuan material substrat diperhitungkan dalam penentuan ketebalan penambalan. Sedangkan, pada kondisi *substrate yields* diasumsikan pipa tidak lagi berkontribusi besar dalam menahan tegangan akibat tekanan fluida sehingga dibutuhkan ketebalan penambalan lebih tinggi [5].

Pengaruh Lokasi Kerusakan Korosi

Pengaruh lokasi kerusakan korosi general pada ketebalan penambalan ditunjukkan pada Gambar 7. Ketebalan penambalan dengan logam untuk kerusakan akibat korosi eksternal lebih rendah dibandingkan korosi internal. Korosi eksternal dianggap akan berhenti jika perbaikan pipa telah dilakukan. Sedangkan, kerusakan korosi internal akan terus mengurangi ketebalan pipa dari dalam walaupun pipa telah ditambal. Sehingga, desain perbaikan menggunakan logam untuk kerusakan korosi internal akan menghasilkan ketebalan yang lebih besar akibat tambahan perhitungan tebal yang diperlukan dengan memperhitungkan laju korosi dan umur perbaikan untuk ketebalan korosi yang diperbolehkan.

8 November 2017



GAMBAR 6. Pengaruh Lokasi Kerusakan pada Ketebalan Penambalan

Ketebalan penambalan dengan komposit untuk korosi internal lebih tinggi dibanding korosi eksternal. Korosi eksternal tidak lagi terjadi setelah perbaikan karena sifat ketahanan korosi dari komposit. Sedangkan, korosi internal akan terus mengurangi ketebalan pipa dari dalam walaupun perbaikan telah dilakukan sehingga dapat mengakibatkan kebocoran pada pipa. Pipa pada studi kasus berpotensi mengalami kebocoran karena tebal pipa akan kurang dari 1 mm pada akhir umur pakai [2]. Selanjutnya ketebalan penambalan pipa yang akan mengalami kebocoran perlu memperhitungkan parameter ketangguhan yang berkaitan dengan antarmuka antara substrat (pipa) dan komposit [6]. Oleh karena itu, ketebalan komposit yang lebih tinggi akan diperlukan untuk menambal kerusakan pipa akibat korosi internal.

Perbandingan Jumlah Lapisan dan Berat

Berat per panjang perbaikan dengan komposit dibandingkan dengan perbaikan logam ditunjukkan pada Tabel 5. Pada kasus 1, 2 dan 3 perbaikan dengan GFRP lebih berat dibanding logam, sedangkan CFRP lebih ringan dibanding logam. Hal ini disebabkan oleh kekakuan spesifik (kekakuan / densitas) arah melingkar GFRP lebih rendah dibandingkan baja. Sedangkan kekakuan spesifik arah melingkar CFRP lebih tinggi dibandingkan baja. Berat perbaikan dengan GFRP maupun CFRP pada kasus 4 dan 5 lebih tinggi dibanding logam. Pada kasus 4, kondisi *substrate yields* memperhitungkan efek *derating temperature* sehingga kekuatan komposit turun [6]. Pada kasus 5, pipa berpotensi mengalami kebocoran akibat korosi interna. Kedua hal ini mengakibatkan ketebalan perbaikan dengan CFRP maupun GFRP jauh lebih tinggi dibanding logam sehingga berat per panjang perbaikan dengan kedua komposit ini lebih tinggi dibandingkan logam.

8 November 2017

TABLE 4. Hasil Perbandingan Berat Penambal Pipa dari Komposit dibanding dengan Logam

No	Studi Kasus	Berat per panjang Komposit dibanding Logam Baja	
		GFRP	CFRP
1	Pipa dia. 750 mm , kondisi cacat besar akibat korosi eksternal dan kondisi substrat <i>does not yield</i>	Meningkat 189,2%	Menurun 52,8%
2	Pipa berdiameter 250 mm dengan kondisi cacat besar akibat korosi eksternal dan kondisi substrat <i>does not yield</i>	Meningkat 91,7%	Menurun 68,6%
3	Pipa dia. 750 mm, kondisi cacat kecil akibat korosi eksternal dan kondisi substrat <i>does not yield</i>	Meningkat 42,3%	Menurun 89,8%
4	Pipa dia.750 mm, kondisi cacat besar akibat korosi eksternal dan kondisi substrat yields	Meningkat 1471%	Meningkat 269,5%
5	Pipa dia. 750 mm, kondisi cacat besar akibat korosi internal dan kondisi substrat <i>does not yield</i>	Meningkat 1682%	Meningkat 437%

KESIMPULAN

Perangkat lunak untuk perbaikan pipa kondisi resiko tinggi dengan menggunakan komposit polimer berpenguat serat berdasarkan ASME PCC-2 telah berhasil dibuat, divalidasi dan dapat digunakan dalam menentukan jenis, jumlah, tebal lapisan dan berat komposit terpilih. Parameter yang mempengaruhi ketebalan dan berat penambalan yaitu diameter pipa, kondisi cacat korosi, kondisi substrat pipa, dan lokasi korosi. Diameter yang lebih besar membutuhkan ketebalan penambalan dengan komposit yang lebih tinggi. Kondisi cacat korosi eksternal yang besar membutuhkan ketebalan penambalan lebih tinggi dibanding kondisi cacat kecil. Ketebalan penambalan untuk kondisi pipa yang telah mengalami deformasi plastis lebih tinggi dibandingkan dengan pipa dengan kondisi elastis. Kerusakan akibat korosi internal membutuhkan ketebalan penambalan lebih tinggi dibanding akibat korosi eksternal.

REFERENSI

1. T. O. Miesner and W. L. Leffler, Oil & Gas Pipelines (PenWell Corporation, Oklahoma, 2006)
2. ASME PCC-2 2015 Repair of Pressure Equipment and Piping (The American Society of Mechanical Engineers, 2015)
3. K. D. Lim, "An Overview of Corroded Pipe Repairing Techniques Using Composite Materials" (International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, 2016)
4. V. M. Karbhari, "Rehabilitation of Pipelines Using Fiber-reinforced Polymer (FRP) Composites (United Kingdom: Elsevier, 2015)
5. N. Saeed, "Composite Repair of Pipelines, Considering The Effect of Live Pressure – Analytical and Numerical Models" (ResearchGate, 2013)
6. Sheets, Colton et al, "Experimental Study of Elevated Temperature Composite Repair Materials to Guide Integrity Decisions" (Alberta, 2016)
7. O. B. University, "Clock Spring Contour Qualification Data as Required by ISO TS 24817" (Oxford Brookes, Oxford, 2007)
8. T. Citadel, "Black Diamond Composite Wrap" (Citadel Technologies, 2011)
9. Perusahaan minyak dan gas di Indonesia "Laporan Internal Kajian Umur Sisa Pipa Penyalur", 2016.

Studi Ketahanan Aus Gesek Pada Baja High Strength Low Alloy (HSLA) EN 10025-S890QL

Husaini Ardy^{1, A)}, Retnadiyah Puteri Utami^{1, B)}

¹Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

a)husaini@material.itb.ac.id b) retnadiyah.p.u@students.itb.ac.id

Abstract.

Wear resistance is one of the important parameters for materials that often rub against other objects, especially for mechanical components in the mining industry. High Strength Low Alloy (HSLA) Steel EN 10025-6 S890QL is a structural steel which has very high strength and toughness so it is the promising candidate for wear resistant material. Study of wear resistance of this material was performed by rotating friction disc (pin on disk method). Mass change as a function of friction time will be used as a parameter to determine wear resistance. Other test such as hardness and microstructural analysis was performed to observe the effect of friction on properties. The microstructure of the material did not change due to friction testing, but its surface hardness increased by about 6-7%. The mass reduction occurs significantly at 6-18 hours of initial friction, then relative decreases and constant over the next time span. The mass reduction was 0.14 grams after 10 hours of friction, 0.08 grams after 20 hours, 0.34 grams after 30 hours, and 0.71 grams after 40 hours.

Keywords: HSLA, Wear resistance, pin-on-disk, mass reduction.

1. PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu material yang sering digunakan dalam dunia industri pertambangan dengan banyak persyaratan yang harus dipenuhi, salah satunya yakni material yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap aus gesek yang tinggi, namun tetap memiliki ketangguhan yang baik terkait dengan umur pakai komponen yang digunakan selama penggerukan mineral dalam tanah. Proses perkuan panas dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik logam yang diinginkan. Salah satu proses perlakuan panas adalah *tempering*. Pada saat tempering fasa martensit akan berubah menjadi fasa lain yang lebih stabil, yakni fasa *tempered martensite* sehingga kegetasannya akan berkurang seiring dengan berkurangnya kekerasan.

8 November 2017

Baja structural steel EN-10025-6 S890QL merupakan salah satu baja structural berbentuk pelat dalam kondisi quench temper yang memiliki sifat mekanik yang baik dengan kekuatan dan keuletan yang sangat tinggi. HSLA memiliki minimum yield strength mencapai 890 MPa, tensile strength mencapai 940-1100 MPa, dan minimum elongation sebesar 11% [1]. Baja ini memiliki fasa *tempered martensite* dan senyawa karbida halus sehingga membuatnya memiliki kekuatan dan ketangguhan yang sangat baik untuk digunakan sebagai aplikasi baja tahan aus namun dengan harga yang lebih murah dibandingkan baja tahan aus yang telah ada sebelumnya. Baja HSLA ini banyak digunakan pada *crane*, *aerial platforms*, dan peralatan penanganan beban.

Gesekan yang terjadi antara dua atau lebih permukaan dapat menyebabkan adanya gaya gesek. Keausan adalah salah satu fenomena kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan ketika sebagian massa hilang/lepas dari permukaan akibat adanya interaksi mekanik dengan permukaan lainnya. Keausan merupakan respon material terhadap kontak permukaan. Pada umumnya, jenis mekanisme keausan dikelompokkan menjadi 4, yaitu : Adhesive Wear, Erosive Wear, Abrasive Wear, dan Fretting Wear.[2] Volume aus sebanding dengan beban dan jarak gesek dan berbanding terbalik dengan kekerasan permukaan material, sehingga kekerasan merupakan faktor penting dalam mengontrol keausan. Pengujian terhadap ketahanan aus material High Strength Low Alloy Steel pada kondisi quench-temper dilakukan untuk melihat besarnya kehilangan massa material tersebut ketika dilakukan penggesekan agar dapat digunakan sebagai aplikasi material tahan aus. Besarnya massa yang hilang, perubahan kekerasan serta perubahan struktur mikro pada fungsi waktu tertentu akan dikonversikan menjadi kemampuan material dalam menahan keausan.

2. MATERIAL DAN METODE

2.1 Material

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini merupakan pelat uji yang termasuk dalam kategori baja struktural low-alloy carbon steel EN 10025- S890QL berbentuk pelat dengan tebal 25 mm dalam kondisi quench-temper. Penelitian ini menggunakan 4 spesimen dengan dimensi 19 x 19 x 19 mm untuk setiap sampel. Spesimen dipotong menggunakan cutting machine sehingga mendapatkan dimensi yang diinginkan.

8 November 2017

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan lama penggesekan pada sampel uji. Variasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL 1 Daftar Spesimen Uji

Material Uji	Kode Spesimen	Keterangan Pengujian
HSLA	As-Received	Spektroskopi dan Metalografi awal
	AUS-10	Uji aus (36 km), Uji keras, dan metalografi akhir
	AUS-20	Uji aus (72 km), Uji keras, dan metalografi akhir
	AUS-30	Uji aus (108 km), Uji keras, dan metalografi akhir
	AUS-40	Uji aus (104 km), Uji keras, dan metalografi akhir

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi sampel menggunakan Optical Emission Spectroscopy.

2.2.2 Pengujian Tarik Sampel

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yang dimiliki oleh material sampel. Pengujian menggunakan mesin Universal Testing Machine di Laboratorium Metalurgi dan Material. Dimensi dan geometri spesimen uji tarik sesuai dengan ASTM A370-03. Pengujian dilakukan dengan standar ASTM E8M-04.

2.2.3 Pengamatan Mikroskop Stereo

Pengamatan stereo dilakukan untuk melihat permukaan gesek yang dihasilkan akibat penggesekan. Pengamatan ini dilakukan menggunakan mikroskop stereo di Laboratorium Teknik Metalurgi Material ITB.

2.2.4 Karakterisasi Metalografi

Metalografi digunakan untuk mengobservasi struktur mikro spesimen sebelum dan sesudah pengujian aus. Adapun tahapannya dimulai dengan pemotongan 5 buah spesimen sebelum dan sesudah dilakukannya pengujian aus, kemudian spesimen di-cold mounting menggunakan resin polyester dalam cetakan silicon rubber.

8 November 2017

Tahapan berikutnya adalah mechanical grinding dengan amplas grit 100, 220, 400, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000 lalu dilanjutkan dengan mechanical polishing menggunakan kain beludru (velvet cloth) dan pasta gigi ZACT dan kemudian dilakukan etching menggunakan larutan nital 5% sekitar 5 detik dan pengamatan mikroskop.

2.2.5 Pengujian Kekerasan

Uji keras dilakukan untuk menentukan kekerasan sampel menggunakan metode mikrovickers. Indentasi dilakukan sebanyak enam kali untuk setiap sampel uji.

2.2.6 Pengujian Aus

Uji aus dilakukan untuk menentukan ketahanan aus gesek dengan parameter pengurangan berat dari tiap sampel. Pengujian aus yang dilakukan menggunakan standar metode pin-on-disk test. Spesimen diletakkan pada pin yang telah diberi beban penekan seberat 3 kg kemudian piringan penggosok yang terbuat dari baja AISI 4140 dengan kekerasan 51-53 HRC dan koefisien gesek 0,4 akan bergerak linier dengan kecepatan 1 m/s. Basis yang digunakan dalam pengujian aus pada penelitian ini adalah basis jarak.

2.2.7 Penimbangan Spesimen

Keausan diukur berdasarkan selisih berat sebelum dan sesudah spesimen diuji aus. Penentuan pengurangan berat dilakukan dengan menimbang sampel sebelum dan setelah pengujian menggunakan neraca digital Sartorius CP224S.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil karakterisasi Optical Emission Spectroscopy (OES)

Hasil karakterisasi OES sampel digunakan untuk mengkarakterisasi awal pelat uji yang tertera di tabel 2.

Komposisi (%berat)								
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
EN10025-S890QL	0.20 (max)	1.60 (max)	0.002 (max)	0.01 (max)	0.80 (max)	2 (max)	1.50 (max)	0.70 (max)
Pelat Uji	0.179	1.385	0.016	0.005	0.206	0.050	0.230	0.501

8 November 2017

3.2 Hasil Uji Tarik

Berdasarkan pengujian didapatkan UTS pelat uji mencapai 1032 MPa dengan yield strength 860 MPa serta perpanjangannya 19%. Dapat dilihat dengan perpanjangan yang diperoleh, material pelat uji memiliki keuletan yang sangat tinggi begitu pula kekuatan tarik maksimumnya. Material pelat uji dapat diklasifikasikan sebagai baja *High Yield Strength Structural Steel*. Adapun perbandingan sifat mekanik pelat uji dengan HSLA tertera dalam tabel 3.

TABEL 3 Sifat Mekanik Pelat Uji

Sifat Mekanik			
	<i>Yield Strength/ ReH (MPa)</i>	<i>Tensile Strength/Rm (MPa)</i>	<i>Elongation (%)</i>
EN10025 S890QL	890 (min)	940-1100	11 (min)
Pelat Uji	860	1032	19

3.3 Pemeriksaan Struktur Mikro Awal Pelat

Hasil pengamatan struktur mikro pada ketebalan 19 mm dari permukaan pelat (gambar 1) didapatkan fasa yang teridentifikasi berdasarkan warna, bentuk, dan ukuran struktur mikro sebagai fasa martensite temper dan senyawa karbida halus.



GAMBAR 1 Struktur Mikro Pelat Uji *As-Received*

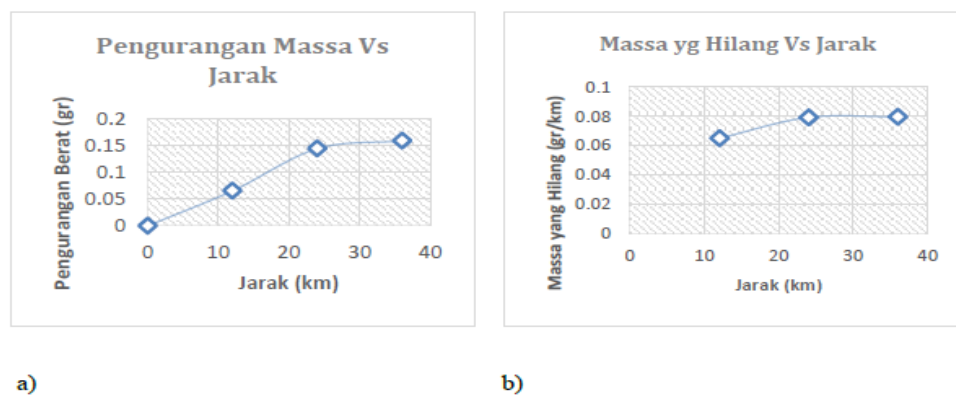
3.4 Analisis Pengujian Aus

TABEL 4. Hasil Pengujian Aus

Spesimen	Massa Awal	Massa Akhir	Pengurangan Massa
AUS-10	27.5282	27.3873	0.5118 %
AUS-20	27.2092	26.3319	3.2242 %
AUS-30	26.6192	26.2844	1.2579 %
AUS-40	27.8709	27.1649	2.53331 %

8 November 2017

Pengujian aus abrasi dilakukan selama selang waktu 10, 20, 30 dan 40 jam berturut-turut terhadap pelat uji AUS-10, AUS-20, AUS-30 dan AUS-40 menggunakan metode *pin-on-disk* dengan kecepatan linear 1 m/s. Tabel 4 menunjukkan pola pengurangan massa yang didapatkan setelah pengujian aus dilakukan. Pengujian AUS-10 dilakukan pada 10 jam pertama (36 km). Penimbangan spesimen dilakukan setiap 3 jam 20 menit untuk melihat fenomena-fenomena keausan di rentang waktu yang lebih sempit. Gambar 2a dan 2b Berikut adalah menunjukkan data yang didapatkan selama pengujian 10 jam pertama.

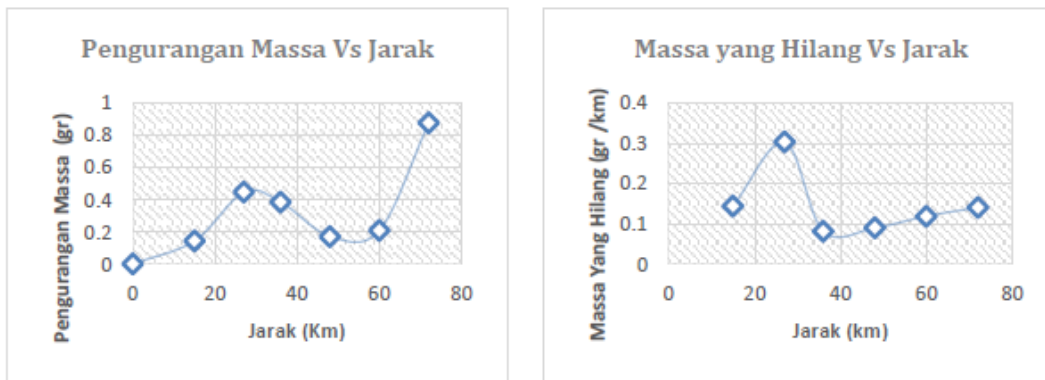


GAMBAR 2 a) Pengurangan massa pada pelat selama 36 km
b) massa yang hilang selama penggesekan

Berdasarkan data di atas dapat dilihat bahwa pengurangan massa tidak terjadi secara drastis pada 1-5 jam awal pengujian namun semakin naik seiring dengan bertambahnya jarak penggesekan yaitu diantara selang waktu 5-8 jam. Hal ini juga dapat dilihat dari grafik massa yang hilang, dimana massa yang hilang lebih banyak terjadi pada jarak 12-24 km (5-8 jam) kemudian relatif lebih konstan dan menurun pada jarak selanjutnya. Hilangnya massa pada 5-8 jam pengujian lebih banyak dibandingkan dengan penggesekan diawal pengujian (1-5 jam) dan penggesekan di akhir pengujian (8-10 jam) disebabkan karena pada rentang waktu 1-5 jam awal kondisi spesimen masih belum sepenuhnya stabil dan permukaan geseknya masih sedikit dikarenakan persiapan spesimen yang tidak rata. Namun setelah memasuki rentang waktu 5-8 jam, permukaan gesek spesimen sudah semakin luas sehingga permukaan yang kehilangan massa lebih banyak. Sedangkan pada rentang waktu 8-10 jam diakhir pengujian, massa yang hilang sudah relatif konstan akibat gaya gesek yang dirasakan spesimen sudah merata diseluruh permukaan.

8 November 2017

Pengujian AUS-20 dilakukan pada 20 jam (72 km). Penimbangan spesimen dilakukan setiap 3 jam 20 menit. Berikut adalah data yang didapatkan selama pengujian 20 jam. Berdasarkan data yang telah didapatkan pada gambar 3 a dan 3b, hal yang sama pada pengujian AUS-10 juga terjadi pada AUS-20.



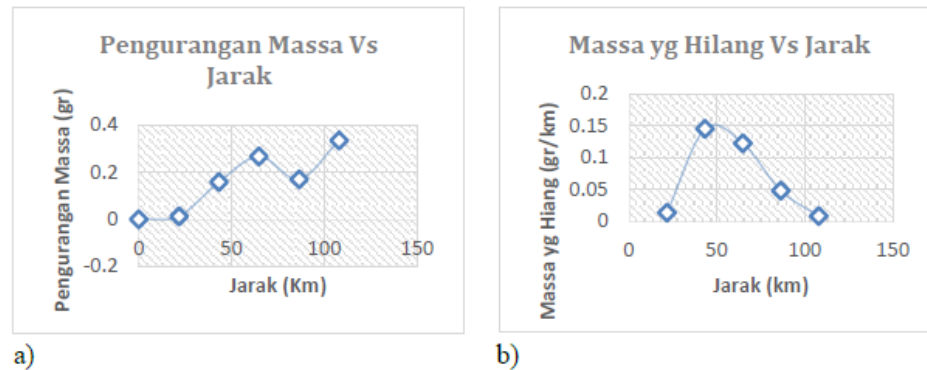
GAMBAR 3 a) Pengurangan massa pada pelat selama 72 km b) massa yang hilang selama penggesekan

Pengurangan massa di awal pengujian tidak terlalu drastis. Namun setelah memasuki jarak 12-24 km (5-8 jam) pengurangan massa yang terjadi menjadi lebih tinggi sehingga membuat massa yang hilang juga lebih banyak. Pada rentang waktu selanjutnya grafik pengurangan massa mengalami penurunan karena permukaan gesek spesimen sudah lebih homogen, sampai pada jarak 60 km kembali mengalami kenaikan. Kenaikan pengurangan massa ini terjadi akibat adanya efek korosi pada spesimen ketika dibiarkan terkekspos pada lingkungan ketika mesin uji gesek mengalami kendala teknis. Korosi yang terjadi pada permukaan spesimen membuat partikel-partikel spesimen akan lebih mudah hilang ketika dilakukan penggesekan dengan waktu yang sama.

Pengujian AUS-30 dilakukan pada 30 jam (144 km). Penimbangan spesimen dilakukan setiap 6 jam. Berikut adalah data yang didapatkan selama pengujian 30 jam. Pada pengujian AUS-30 kecenderungan pengurangan massa dan massa yang hilang relatif sama dengan pengujian 10 dan 20 jam, yaitu pengurangan massa yang terjadi diawal pengujian tidak terlalu drastis kemudian naik secara signifikan dan menurun. Namun pada pengujian 30 jam kenaikan pengurangan massa secara drastis terjadi pada jarak 22-65 km (6-18 jam) dan menurun di rentang waktu berikutnya. Perbedaan ini terjadi karena pada pengujian 30 jam, mesin uji gesek

8 November 2017

kembali mengalami kendala teknis dan spesimen juga dibiarkan terekspos di lingkungan sehingga terjadi korosi pada rentang waktu tersebut dan membuat massa yang hilang lebih banyak akibat terjadinya korosi permukaan. Pada 6 jam terakhir pengujian, pengurangan massa kembali mengalami kenaikan yang disebabkan korosi permukaan ketika spesimen dibiarkan terekspos di lingkungan.



GAMBAR 4 a) Pengurangan massa pada pelat selama 108 km b) Massa yang hilang selama penggesekan

Pengujian AUS-40 dilakukan pada 40 jam (144 km). Penimbangan spesimen dilakukan setiap 3 jam 20 menit. Berikut adalah data yang didapatkan selama pengujian 40 jam. Sama halnya dengan pengujian 10, 20 dan 30 jam pertama, penurunan massa diawal pengujian tidak berlangsung 5 relatif konstan dan mengalami kenaikan menurun dan cenderung konstan lalu kembali naik secara signifikan di akhir pengujian akibat korosi yang terjadi pada permukaan. Pada pengujian 40 jam keausan sudah jauh lebih merata dibandingkan dengan pengujian lainnya, hal ini dapat dilihat dari grafik pengurangan massa di akhir-akhir pengujian relatif konstan.

Berdasarkan keseluruhan data pengurangan massa yang didapatkan, dapat dilihat bahwa pengurangan massa paling signifikan pada rentang waktu 6-9 jam awal pengujian lalu setelah selang waktu tertentu massa yang hilang akan semakin sedikit.

3.5 Peningkatan Kekerasan

Nilai kekerasan pelat uji mengalami kenaikan dibandingkan dengan kekerasan awal spesimen.

8 November 2017

Perubahan kekerasan terjadi secara drastis pada awal penggesekan (10 jam awal pengujian), kemudian mengalami penurunan pada rentang waktu setelahnya meskipun tetap mengalami kenaikan kekerasan dibandingkan dengan kekerasan awal (gambar 6). Kenaikan kekerasan hanya terjadi pada permukaan spesimen yang mengalami penggesekan karena adanya efek mikro strain hardening [4] dalam skala lokal. Kenaikan kekerasan terjadi akibat ketahanan aus dari material uji juga semakin meningkat. Pada pelat uji ditemukan goresan dengan jejak yang cukup dalam yang menandakan terjadinya micro-plasticity.



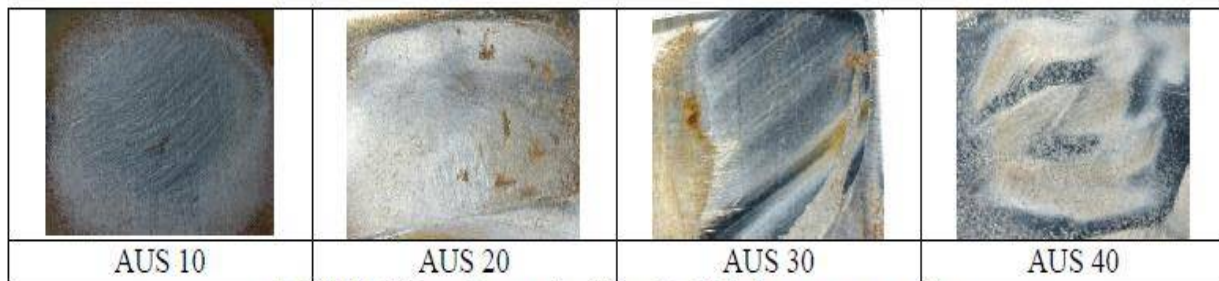
GAMBAR 6 Perubahan kekerasan spesimen uji

3.6 Penghalusan Permukaan Uji

Kekasaran permukaan suatu material mempengaruhi besarnya tekanan yang diterima oleh material. Semakin kasar permukaan awal material uji maka tekanan lokal yang diterima menjadi tidak seragam sehingga tingkat keausan permukaan yang kasar lebih tinggi. Permukaan yang kasar akan terus berkurang hingga kekasarnya sama dengan bagian yang lain. Hal inilah yang mengakibatkan pengurangan massa lebih besar pada awal pengujian dibandingkan dengan selang waktu berikutnya. Jika kekasaran material uji sudah homogen, tekanan yang bekerja lebih seragam dan lebih kecil dibandingkan tekanan awal. Hal ini dapat dilihat dari gambar 7 bahwa dengan semakin naiknya rentang waktu penggesekan maka permukaan spesimen menjadi semakin mengkilap dan membuktikan bahwa pengurangan massa menjadi semakin kecil.

Dari gambar 3.6 juga dapat dilihat bahwa pada spesimen AUS-20 dan AUS-40 lebih banyak terjadi korosi sehingga membuat kehilangan massanya juga lebih banyak dibandingkan AUS-10 dan AUS-30. Ketika material mengalami peristiwa korosi maka partikelnya akan lebih mudah terlepas ketika dilakukan penggesekan.

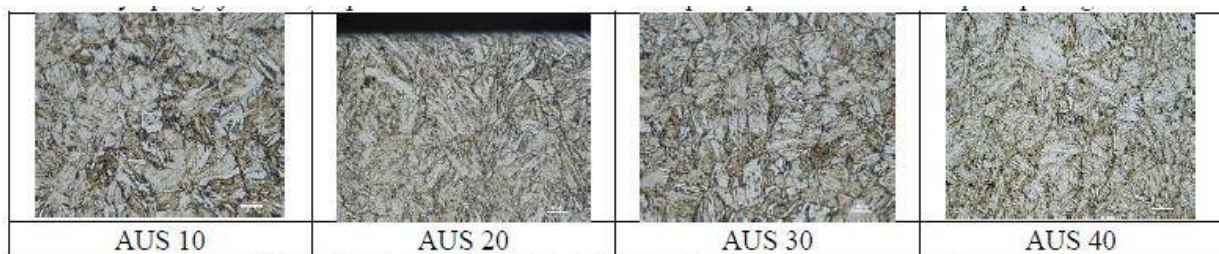
8 November 2017



GAMBAR 7 Permukaan pelat uji setelah dilakukannya penggesekan

3.7 Analisis Struktur Mikro Hasil Pengujian Aus

Pada penelitian ini digunakan empat pelat uji aus yang memiliki komposisi sama namun waktu pengujian aus yang berbeda, hal ini dilakukan untuk melihat variasi struktur mikro yang terbentuk selama uji aus dilakukan. Hasil metalografi terhadap pelat uji AUS-10, AUS-20, AUS-30, dan AUS-40 tidak terlihat perubahan struktur mikro setelah dilakukannya pengujian aus, dapat dilihat dari struktur mikro pada perbesaran 100x seperti pada gambar 8.



GAMBAR 8 Struktur Mikro Pelat Uji Setelah dilakukannya penggesekan

Berdasarkan struktur mikro dari keempat pelat uji, fasa yang terbentuk adalah fasa martensite yang sama seperti fasa pada pelat uji *as-received*.

4 KESIMPULAN

Pengurangan massa pada baja HSLA terjadi secara signifikan pada selang waktu 6-18 jam awal penggesekan, kemudian relatif menurun dan konstan pada rentang waktu selanjutnya. Adapun pengurangan massa yang terjadi pada AUS 10 jam, 20 jam, 30 jam, dan 40 jam adalah 0.14 gram, 0.88 gram, 0.34 gram, dan 0.71 gram berturut-turut..

REFERENSI

1. www.ssab.com. [diakses pada 23 Mei 2017].
2. ASM Handbook Committee, ASM Handbook: Heat Treating, vol. 4, Ohio: ASM International, 1991.
3. B. L. B. d. A. O. Benschoter, Metallographer's Guide: Practices and Procedures for Irons and Steels, Ohio, United States of America: ASM International, 2002.
4. J. W. D. C. d. D. G. Rethwisch, Material Science and Engineering: An Introduction, 9th Ed, Asia: John Wiley & Sons, Inc, 2013.

**Pemetaan Korosi Menggunakan *Rapid Motion Scanner* (RMS) Dan Asesmen FFS-FEA
Pada Tangki Penyimpanan**

Ekha Panji Syuryana^{1,A} Dan Muhamad Agus Kariem^{2,B}

^{1,a}Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, UNJANI, Jl. Jenderal Gatot Subroto PO.Box 807, Bandung

^{2,b}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, ITB, Jl. Ganesha No.10, Bandung

^{a)}ekha.panji@lecture.unjani.ac.id ^{b)}kariem@edc.ms.itb.ac.id

Abstrak

Integritas fasilitas pemrosesan *onshore* dipengaruhi dari kondisi integritas setiap peralatan, perpipaan, dan utilitas pendukung dari sistem fasilitas tersebut. Salah satu utilitas penting dalam fasilitas tersebut adalah Tangki penyimpan air pemadam kebakaran. Studi kasus dalam penelitian ini dilakukan untuk Tangki yang telah beroperasi 19 tahun, sehingga diperlukan inspeksi dan analisis untuk mengetahui kondisi integritasnya. Metode inspeksi yang digunakan pada pemetaan korosi tangki ini menggunakan *Rapid Motion Scanner* (RMS) yang merupakan peralatan otomatisasi dari inspeksi *Ultra Sonic* (UT) *pulse echo*. Metode analisis untuk menghitung kelayakan Tangki akan menggunakan metode *Fitness for Service* (FFS) dan *Finite Element Analysis* (FEA). Dimensi tangki memiliki diameter 18,5 m, ketinggian 14,6 m. Desain tingkat ketinggian cairan tangki 13,7 m dengan ketinggian actual air 10 m. Material tangki adalah baja karbon ASTM A36. Berdasarkan data hasil inspeksi, laju korosi rata-rata pada permukaan tangki ini untuk setiap bentuk korosi adalah *general metal loss* 0,078 mmpy, *local metal loss* 0,168 mmpy, dan *pitting corrosion* 0,199 mmpy. Perhitungan FFS Level 1 untuk korosi *general* dan *pitting* masih memenuhi batas yang diijinkan API 579-1/ASME FFS-1. Sedangkan untuk *local metal loss* melewati batas yang diijinkan. Simulasi FEA yang dilakukan menyesuaikan dengan kondisi ketinggian air desain, ketinggian air aktual, dan ketinggian air yang diijinkan.

Kata kunci: Tangki penyimpan (*Above Ground Storage Tank*/AST), RMS, FFS, FEA

8 November 2017

PENDAHULUAN

Metodologi pengujian tidak merusak dalam perkembangannya memiliki peningkatan dalam akurasi dan kemampuan deteksi cacat pada sisi bagian dalam komponen atau peralatan teknis. Tangki penyimpanan merupakan salah satu peralatan yang digunakan untuk penyimpanan berbagai jenis cairan seperti minyak mentah, produk bahan bakar, bahan petrokimia, air, dan lain sebagainya. Kondisi kerusakan pada tangki penyimpanan sering terjadi pada beberapa bagian seperti pada plat bagian bawah, plat bagian cangkang, plat bagian atap. Kerusakan pada tangki memiliki perbedaan pada sisi bagian dalam yang kontak dengan cairan dan bagian luar yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti tanah dan atmosferik.

Inspeksi dan asesmen pada tangki ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan pelat minimum yang diperlukan dan batas maksimum ketinggian air yang disimpan dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti kondisi korosi pada pelat tangki, kondisi operasi dan lingkungan. Berdasarkan penjelasan pada API 650 [2], dan Antaki [3] perhitungan dengan persamaan sebagai berikut.

$$t_{min} = \frac{4.9DG(H-0.3)}{S} \quad (1)$$

$$MFH = \frac{tS}{4.9DG} + 0.3 \quad (2)$$

Dimana t_{min} dan t adalah ketebalan pelat dinding tangki dalam milimeter, D adalah diameter nominal tangki dalam meter, H adalah ketinggian desain cairan yang disimpan dalam tangki dalam meter, S adalah tegangan yang diijinkan dalam MPa, dan MFH (*Maximum Fill Height*) ditunjukkan dalam satuan metric.

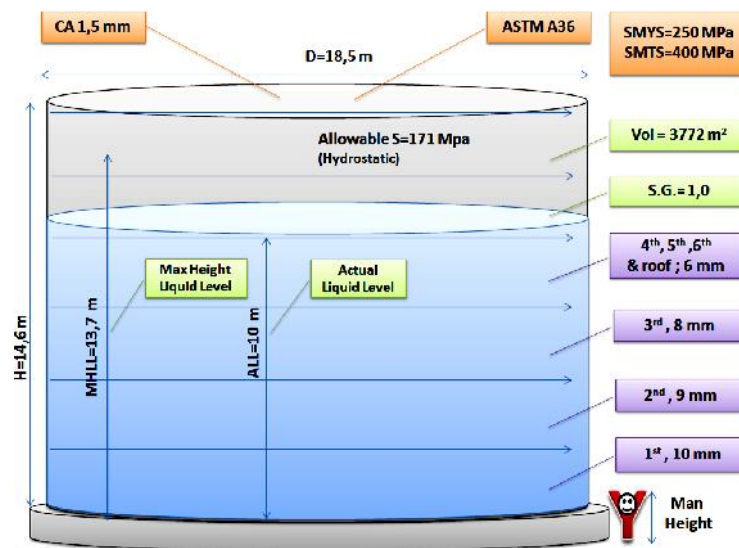
SPESIFIKASI MATERIAL DAN METODE ASESMEN TANGKI

Spesifikasi Material

Kondisi operasi tangki penyimpanan yang akan dijadikan studi kasus didalam makalah ini merupakan tangki penyimpanan air untuk persediaan air pemadam kebakaran. Tangki ini memiliki fungsi penting dalam suatu stasiun pemrosesan minyak dan gas sebagai sistem pengaman stasiun. Spesifikasi material ASTM A36 yang digunakan untuk tangki sesuai dengan spesifikasi API STD 650 [2].

8 November 2017

Material tersebut memiliki SMYS (*Specified Minimum Yield Strength*) 250 MPa, SMTS (*Specified Minimum Tensile Strength*) 400 MPa, batas uji hidrostatik 171 MPa dan Tegangan desain produk 160 MPa. Tangki didesain dengan parameter tekanan desain 14,7 psi (1 atm), temperatur desain 15°C / 45°C. Parameter ketinggian air untuk hidrotest 14,6 m, ketinggian air maksimum desain 13,7 m dan kondisi ketinggian air actual adalah 10 m. *Corrosion allowance* material A 36 di desain 1,5 mm. Tangki memiliki sistem proteksi internal dengan menggunakan *coating* dan *cathodic protection*, bagian luar menggunakan *coating* yang mempertimbangkan kondisi atmosferik. Pada GAMBAR 0.1 ditunjukkan skema tangki dan ketebalan pelat nominal untuk setiap baris cangkang tangki.



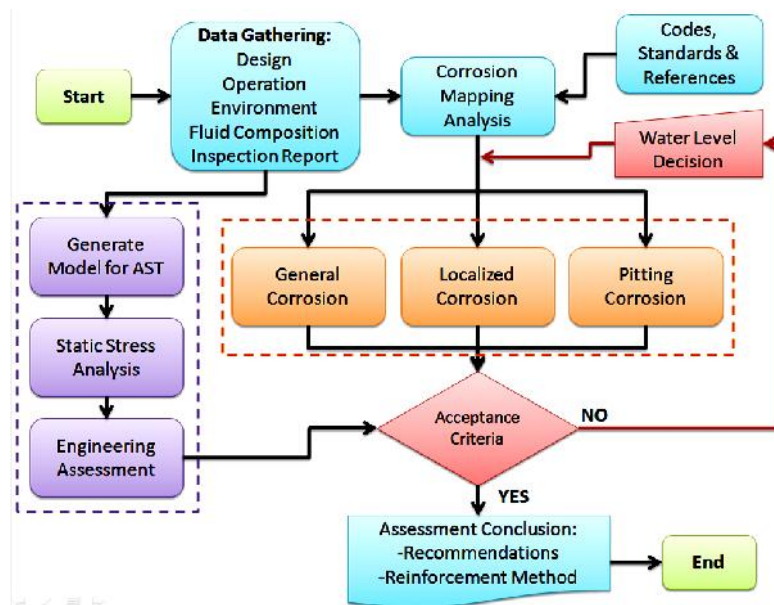
GAMBAR 0.1 Skema Data Desain Tangki Penyimpan

Metodologi Asesmen Tangki

Proses asesmen dilakukan diawali dengan proses pengumpulan dan analisis data. Data terkait dalam asesmen ini antara lain data; desain, operasi, lingkungan, komposisi dan sifat fluida isi tangki, serta data inspeksi tangki. Metode pemetaan korosi akan dilakukan dengan menyusun hasil proses inspeksi *Rapid Motion Scanner* (RMS) dari setiap pelat bagian dari tangki menjadi suatu kesatuan dengan penyusunan secara mendatar. Berdasarkan perbandingan lebar dan panjang kerusakan akan diklasifikasikan menjadi beberapa kluster morfologi korosi yaitu; *general*, *localized*, dan *pitting*. Proses *screening* data korosi akan dilakukan untuk membagi jenis korosi sehingga proses perhitungan akan dilakukan untuk beberapa kondisi kritikal dari ketiga jenis korosi tersebut.

8 November 2017

Untuk tahapan pemodelan akan dilakukan dengan program perangkat lunak *Finite Element Analysis* (FEA), seluruh bagian konstruksi tangki akan dimodelkan dan dilanjutkan dengan proses penambahan mesh pada model geometry dan penambahan parameter kondisi *metal loss* pada bagian-bagian pelat tangki sesuai hasil inspeksi. Input parameter kondisi desain, operasi dan lingkungan akan memberikan faktor pembebanan kerja pada model geometri tangki. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan dan analisis teknik dengan metode *Fitness for Service* (FFS). Hasil analisis akan menunjukkan kondisi kerusakan masih dapat toleransi atau direkomendasikan perlu dilakukan perbaikan. Pada GAMBAR 0.2 ditunjukkan diagram alir asesmen.



GAMBAR 0.2 Diagram Alir Pemetaan Korosi, Analisis Tegangan dan Asesmen Tangki

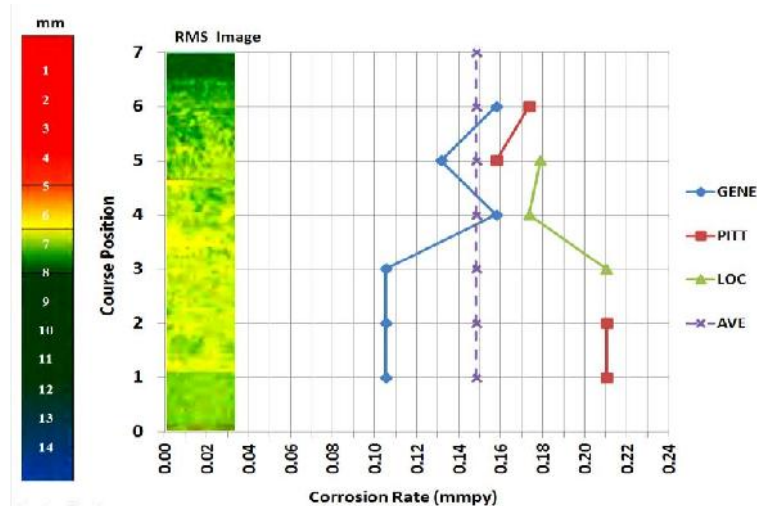
Inspeksi dan Pemetaan Korosi

Metode inspeksi yang dilakukan untuk mengetahui kondisi korosi pada tangki menggunakan metode inspeksi *ultrasonic* yang telah dimodifikasi untuk akurasi dan scan dengan jangkauan dan waktu inspeksi lebih cepat. Metode inspeksi ini merupakan modifikasi metode *ultrasonic* dengan melakukan penambahan fungsi metode penempelan probes menggunakan alat bantu roda magnetik yang membantu stabilisasi posisi probe menjadi konstan. Jarak scan probe dapat menjangkau hingga 1000 mm hal ini dapat meningkatkan kemampuan *Probability of Detection* (POD) untuk cacat-cacat atau mengukur luas dan kedalaman cacat lebih akurat [7].

8 November 2017

Berdasarkan pengolahan data inspeksi [6] kondisi kedalaman cacat korosi dari kluster korosi *general* (GENE), *localized* (LOC), *pitting* (PIT) dan rata-rata laju korosi (AVE) ditunjukkan pada GAMBAR 0.3 dibawah ini. Contoh visualisasi korosi hasil inspeksi RMS ditampilkan pada bagian sumbu vertikal grafik untuk menunjukkan kondisi distribusi dan sebaran korosi yang terjadi pada permukaan bagian dalam tangki. Warna yang ditunjukkan merupakan representasi ketebalan sisa pelat tangki dengan skala warna dan estimasi ketebalan dalam mm. Biru memiliki tebal maksimal 14-13 mm, hijau dalam rentang 12-7 mm, kuning rentang 7-6 mm dan tebal minimum lebih kecil dari 5 mm berwarna merah.

Grafik laju korosi tertinggi pada GAMBAR 0.3 menunjukkan sebaran korosi *general* terdeteksi pada setiap baris (*row*) ke-1 (laju korosi 0,105 mmpy) sampai dengan ke-6 (laju korosi 0,158 mmpy). Korosi *localized* terdeteksi pada pelat baris ke-3 (laju korosi 0,211 mmpy), ke-4 (laju korosi 0,174 mmpy) dan ke-5 (laju korosi 0,179 mmpy). Korosi *pitting* terdeteksi pada pelat ke-1 (laju korosi *pitting* 0,211 mmpy), ke-2 (laju korosi *pitting* 0,211 mmpy), ke-5 (laju korosi *pitting* 0,158 mmpy) dan ke-6 (laju korosi *pitting* 0.174 mmpy). Dari data tersebut kondisi laju korosi rata-rata untuk setiap bentuk korosi adalah *general metal loss* 0,078 mmpy, *local metal loss* 0,168 mmpy, dan *pitting corrosion* 0,199 mmpy. Kondisi bagian dalam tangki memiliki satu fasa cairan pada bagian bawah (baris ke-1 sampai ke-4,) dengan ketinggian air 10 m. Pada bagian atas tangki akan berisi udara dan kemungkinan terbentuknya uap air jika dalam kondisi panas (siang hari). Hal ini mempengaruhi laju korosi pada bagian-bagian pelat tangki.



GAMBAR 0.3 Kondisi Pemetaan Korosi Permukaan Tangki [6] dan Tingkat Laju Korosi Hasil Inspeksi RMS

8 November 2017

Analisis dan Perhitungan FFS

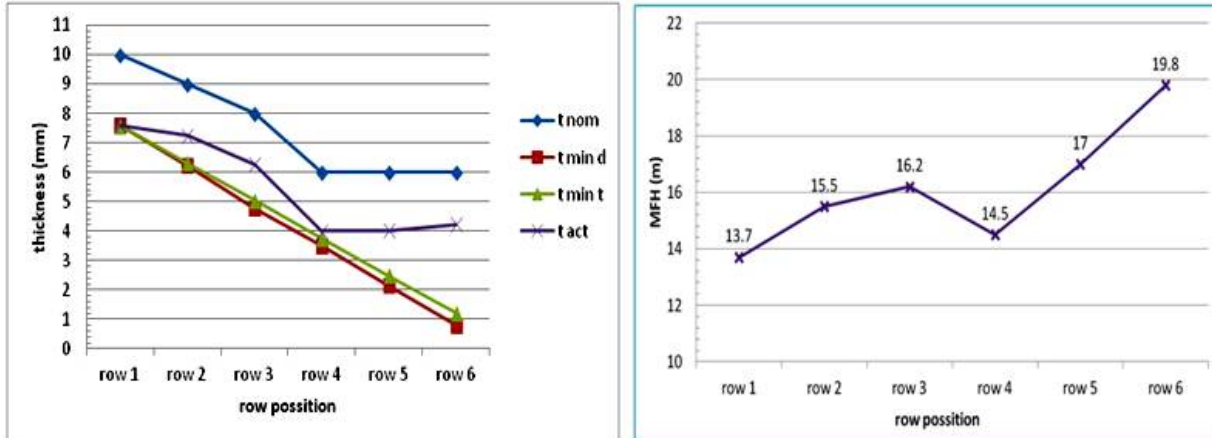
Metodologi *Fitness for Service* (FFS) mengacu kepada API 579-1/ASME FFS-1[5], analisis FFS merupakan metode evaluasi teknis secara kuantitatif untuk mengetahui integritas peralatan yang beroperasi. Secara umum metodologi FFS diawali dari pengolahan data pemetaan korosi, penentuan morfologi korosi, perhitungan sesuai dengan morfologi korosi (*general*, *localized*, dan *pitting*) seperti ditunjukkan pada diagram alir pada GAMBAR 0.2. di bagian atas.

Perhitungan FFS Level 1 untuk *general metal loss* (FFS Part 4) menggunakan rumus (1) dan (2) dan beberapa data input pada bagian 0 Spesifikasi Material, dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

- A. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-1 yang memiliki *t nominal* sebesar 10 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 7,59 mm dan *t min* test sebesar 7,58 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 7,6 mm untuk perhitungan MFH sebesar 13,7 m.
- B. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-2 yang memiliki *t nominal* sebesar 9 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 6,23 mm dan *t min* test sebesar 6,31 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 7,24 mm untuk perhitungan MFH sebesar 15,5 m.
- C. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-3 yang memiliki *t nominal* sebesar 8 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 4,87 mm dan *t min* test sebesar 5,04 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 6,27 mm untuk perhitungan MFH sebesar 16,2 m.
- D. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-4 yang memiliki *t nominal* sebesar 6 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 3,51 mm dan *t min* test sebesar 3,76 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 3,99 mm untuk perhitungan MFH sebesar 14,5 m.
- E. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-5 yang memiliki *t nominal* sebesar 6 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 2,15 mm dan *t min* test sebesar 2,49 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 4,03 mm untuk perhitungan MFH sebesar 17 m.
- F. Hasil perhitungan untuk pelat baris ke-6 yang memiliki *t nominal* sebesar 6 mm sebagai berikut; *t min* desain sebesar 0,79 mm dan *t min* test sebesar 1,22 mm. Dengan ketebalan aktual hasil pengukuran *t* sebesar 4,23 mm untuk perhitungan MFH sebesar 19,8 m.

Sebagai perbandingan data akan ditunjukkan dalam grafik pada GAMBAR 0.4 berikut ini.

8 November 2017

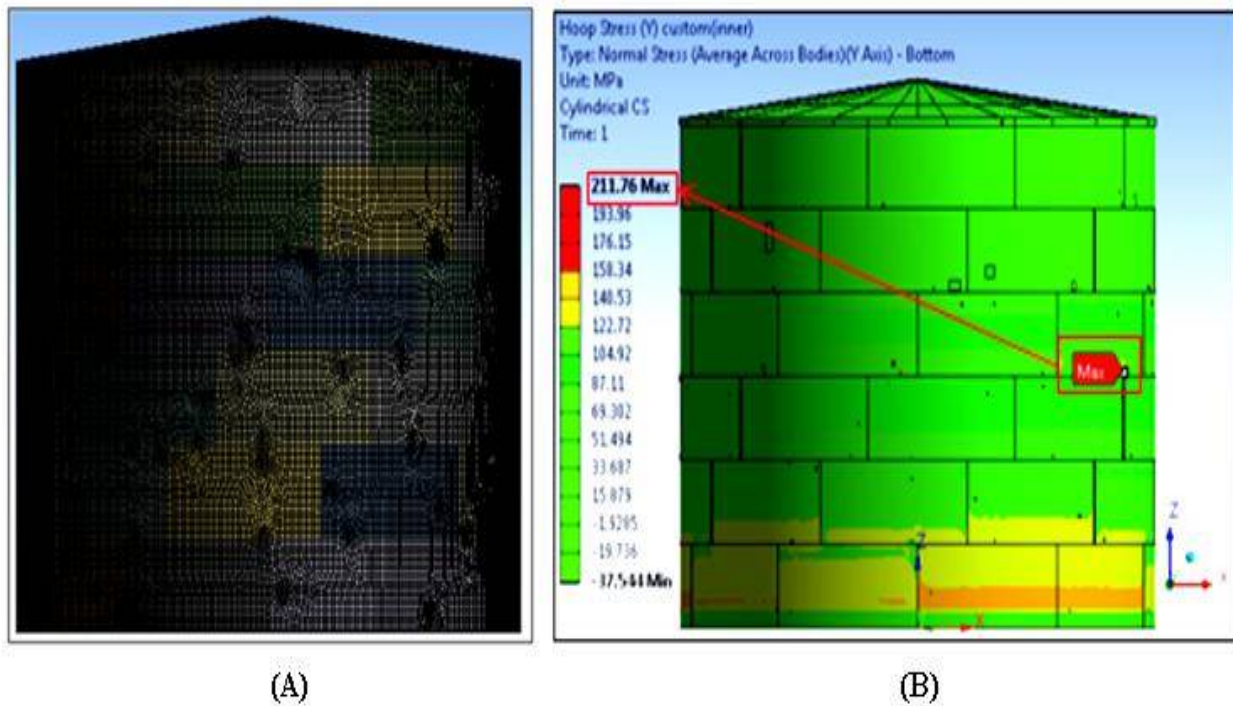


GAMBAR 0.4 Grafik Perbandingan Ketebalan pada Tangki hasil RMS dan Hasil FFS untuk MFH Tangki.

Analisis Model FEA

Tahapan analisis FEA akan diawali dengan pembuatan model geometri struktur tangki penyimpanan yang sesuai dengan kondisi *as-built drawing* dan beberapa data seperti yang ditunjukkan pada GAMBAR 0.1. selanjutnya akan diberikan pembebanan yang merepresentasikan kondisi di lapangan dengan berbagai batasan pada model elemen hingga tersebut seperti analisis tegangan dan kondisi korosi atau kondisi ketebalan aktual pada tangki dari hasil pemetaan korosi sebelumnya (GAMBAR 0.3). Dalam analisis dan simulasi FEA tangki diketahui distribusi *hoop stress* dari setiap baris pelat tangki, kondisi maksimum menunjukkan kisaran 211,76 MPa pada baris ke-3 tangki atau ketinggian 7,2 m dengan ketinggian air aktual 10 m. Batas kekuatan material ASTM A36 memiliki SMYS 250 MPa dan SMTS 400 MPa. Menurut API STD 650 [2] batas aman uji hidrostatik material tersebut 171 MPa dan Tegangan desain Produk 160 MPa. Berikut visualisasi *meshing geometry* untuk penentuan *entity* pada model dan hasil analisis FEA untuk distribusi kondisi *hoop stress* pada setiap pelat tangki penyimpanan ditunjukkan pada GAMBAR 0.5 berikut.

8 November 2017



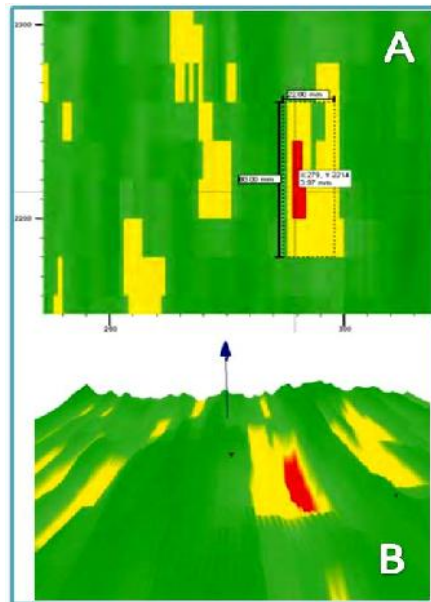
GAMBAR 0.5 Kondisi tangki saat dilakukan *meshing geometry* (A), *Hoop Stress* pada Tangki Hasil Pemodelan FEA (B). [6]

HASIL ASESMEN DAN PEMBAHASAN

Scan RMS Tangki

Menurut Papavinasam [4] lebih dari 65% tangki penyimpanan mengalami kegagalan akibat korosi. Pemetaan korosi berbasis inspeksi menjadi faktor penting untuk menjaga integritas peralatan yang beroperasi. Dengan menggunakan RMS (*Rapid Motion Scanner - automated pulse echo ultrasonic*) visualisasi detail dari kondisi korosi pada permukaan bagian internal tangki penyimpanan dapat diukur dalam hasil gambar 2D dan 3D. Hal ini dapat membantu peningkatan akurasi dalam analisis FFS dan pemodelan FEA yang dilakukan untuk *integrity assessment* pada tangki penyimpanan. Pada GAMBAR 0.6 berikut ditunjukkan salah satu contoh hasil *scan detail* dari kondisi korosi yang terdapat pada salah satu pelat di baris ke-3 tangki. Kondisi korosi yang terukur pada area scan (A) adalah ketebalan minimum 3,73 mm, ketebalan rata-rata 5,57 mm dan area terkorosi lebar 38 mm x panjang 80 mm.

8 November 2017



GAMBAR 0.6 (A) Hasil Scan Pelat Tangki 2D, dan (B) scan 3D pada Pelat Baris ke-3. [6]

Analisis Hasil FFS dan FEA

Hasil perhitungan FFS (sub-bab 0 Analisis dan Perhitungan FFS) dan analisis FEA (sub-bab 0 Analisis Model FEA) pada tangki penyimpanan air tersebut menunjukkan adanya beberapa bagian pelat yang memiliki kondisi *hoop stress* melebihi batas aman yang diijinkan, sehingga perlu dilakukan perbaikan (*reinforcement* dan *maintenance*) dengan metode *patching* dengan ketebalan pelat 5 mm dan untuk pelat yang memiliki stress ratio melebihi 1,1 pada baris yang berada di posisi ketinggian air aktual direkomendasikan untuk dilakukan penggantian pelat sesuai kondisi desainnya.

Kondisi kerusakan tangki selain pada bagian cangkang, sering terjadi juga pada bagian bawah pelat tangki. Kondisi korosi pada bagian ini tidak dapat diinspeksi dengan menggunakan RMS, salah satu metode inspeksi yang sesuai salah satunya dengan menggunakan MFL (*Magnetic Flux Leakage*) yang mampu mendeteksi cacat pada bagian eksternal yang mengalami korosi akibat pengaruh kontak dengan tanah dan bagian internal yang mengalami korosi akibat pengaruh kontak dengan air [1],[8]. Oleh karena hal tersebut, untuk melindungi pelat bagian bawah perlu dilakukan kajian kebutuhan proteksi katodik pada bagian yang kontak dengan tanah dan pada bagian dalam dengan ketinggian air maksimum yang disimpan didalam tangki yang mempertimbangkan kebutuhan arus untuk kondisi air diam sebesar 11 hingga 65 mA/m² [4] untuk bagian tangki yang tertutup oleh tanah rentang proteksi katodik yang dianjurkan oleh

8 November 2017

NACE SP 0169 adalah 850 –mV hingga 1000-mV [1]. Pertimbangan lain untuk studi analisis korosi akibat pengaruh air terhadap material pelat A 36 adalah studi untuk mengetahui karakter korosifitas air dengan menghitung *Ryznar index* (RI) dan *Langelier saturation index* (LSI). Menurut Sastri [9] air pada kisaran pH 3-10 memiliki kisaran pengaruh laju korosi 0,22 mmpy, pada tangki ini laju korosi relatif lebih rendah karena ada pengendalian korosi dengan *coating* dan SACP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*).

Pada bagian atas tangki yang tidak terisi cairan disarankan untuk menggunakan coating lebih tebal untuk meminimalisir kelembaban akibat uap air. Titik-titik dan area yang mengalami penipisan yang terdeteksi pada pemetaan korosi sebaiknya digunakan sebagai CIP (*Corrosion Inspection Point*) untuk mengamati kondisi aktual ketebalan pelat dan laju korosi.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

1. Dengan melakukan pemetaan korosi RMS penentuan posisi bagian pelat tangki yang mengalami kerusakan dan perlu dilakukan perbaikan.
2. Ketinggian air maksimum (MFH) yang masih mampu ditampung tangki terendah adalah 13,7 m, ketinggian operasi aktual 10 m.
3. Berdasarkan hasil FFS-FEA maka, harus dilakukan *reinforcement* dengan metode *patching* pada bagian tangki yang memiliki *hoop stress* yang melebihi batas aman.
4. Melakukan pemetaan korosi MFL (*Magnetic Flux Leakage*) pada Pelat dasar tangki yang kontak dengan tanah dan melakukan analisis kebutuhan proteksi katodik.
5. Melakukan studi korosifitas air dengan menghitung *Ryznar index* (RI) dan *Langelier saturation index* (LSI).

ACKNOWLEDGMENTS

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Metalurgi-UNJANI dan Lab. EDC, Teknik Mesin, FTMD-ITB untuk dukungan submit makalah ini. PT.LAPI ITB untuk proses engineering assessment tangki serta PT.Dago Energi Nusantara untuk pemodelan dan analisis menggunakan perangkat lunak FEA untuk melakukan pemodelan tangki, analisis data inspeksi ultrasonic, dan program bantu formulasi proses penentuan kekuatan sisa pada makalah ini. Serta beberapa pihak terkait lainnya yang mendukung proses akuisisi data dan survey di lapangan.

8 November 2017

REFERENSI

1. W.B. Geyer and J. Wisuri, *Handbook of Storage Tank System*, (Marcel Dekker, Inc., NY, 2005), pp. 5, 162.
2. API STD 650, *Welded Steel Tanks for Oil Storage* (American Petroleum Institute, Washington D.C., 2001), pp.3-7.
3. G. Antaki, *Fitness for Service and Integrity, Piping, Vessels, and Tanks*, (McGrawHill, NY, 2005), pp. 243.
4. S. Papavinasam, *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*, (Elsevier, MA, 2014), pp. 96, 587, 631.
5. API 579-1/ASME FFS-1, *Fitness for Service*, (ASME-API, New York 2016),pp. 2C-25.
6. M.A. Kariem, R.Firmansyah, Sudarmono, E.P.Syuryana, S.Kurniawan, *Assessment of Fire Water Tank*, (PT.LAPI ITB, Bandung, 2017).
7. *RMS2 High Speed Remote Access C-Scan Corrosion Mapping System*, (Silverwing, 2013).
8. E.P. Syuryana, B.Widyanto, B.Budiwantoro, *Modifikasi Metode Muhlbauer untuk Pemetaan Risiko Korosi Semi-Kuantitatif Pada Pipa Penyalur Gas*, (Proceeding SNTTM XV, ITB, Bandung, 2016) pp.928-934.
9. V.S. Sastri, E.Ghali, M. Elboudjaini, *Corrosion Prevention and Protection Practical Solutions*, (John Wiley & Sons, Ltd., Wiltshire, 2007). pp 205.



ISBN : 978-602-51621-0-7
e-ISBN : 978-602-51621-1-4



SENAMM X – UNDIP 2017



YAMAHA

Semarang, 8 Nopember 2017

Hotel Grasia
Jl. S. Parman No.29, Gajahmungkur,
Semarang, Jawa Tengah 50231

senamm.undip.ac.id
senammx@gmail.com