



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

PENGARUH *THERMAL CYCLE* TERHADAP KETAHANAN ADHESI DAN ABRASIF PADA PELAPISAN SS 304 DENGAN NiCrSiB METODE *FLAME SPRAY AND FUSED*

MUHAMMAD RIDHO AZHARI
NRP. 2713 100 079

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN
METALURGI Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember Surabaya
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH *THERMAL CYCLE* TERHADAP
KETAHANAN ADHESI DAN ABRASIF PADA
PELAPISAN SS 304 DENGAN NiCrSiB METODE
*FLAME SPRAY AND FUSED***

MUHAMMAD RIDHO AZHARI
NRP. 2713 100 079

Dosen Pembimbing:

Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN
METALURGI Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

EFFECT OF THERMAL CYCLE ON ABRASION AND ADHESION STRENGTH OF NICRSIB COATED ON SS 304 USING FLAME SPRAY & FUSED METHOD

MUHAMMAD RIDHO AZHARI
NRP. 2713 100 079

Advisor:

Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.

Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH *THERMAL CYCLE* TERHADAP
KETAHANAN ADHESI DAN ABRASIF PADA
PELAPISAN SS 304 DENGAN NICRSIB METODE
*FLAME SPRAY & FUSED***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Mmeperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Teknik Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

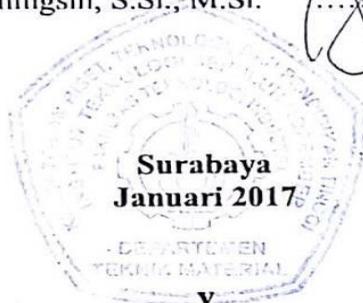
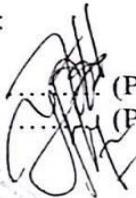
Oleh:

Muhammad Ridho Azhari
NRP. 2713 100 079

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Agung Purniawan ST., M.Eng.
2. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

..... (Pembimbing I)
..... (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Pengaruh *Thermal Cycle* Terhadap Ketahanan Adhesi dan
Abrasi Pada Pelapisan SS 304 Dengan NiCrSiB Metode
*Flame Spray & Fused***

Nama : Muhammad Ridho Azhari
NRP : 2713 100 079
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si

Proses pelapisan logam dengan metode *flame spray & fused* adalah salah satu solusi untuk perlindungan material terhadap pengaruh lingkungan khususnya pada *boiler*. Erosi pada *superheater tube* yang merupakan komponen dari *coal fired-boiler* disebabkan oleh partikel debu (*fly ash*) yang berasal dari pembakaran batu bara. Penelitian ini mensimulasikan kondisi atmosfer boiler yang bekerja pada temperature tinggi dengan suatu metode *thermal cycle* dan bertujuan untuk menganalisis pengaruh *thermal cycle* pada pelapisan NiCrSiB dengan metode *flame spray & fused* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. *Thermal cycle* menyebabkan ketahanan abrasi meningkat yang ditunjukkan dengan nilai berat yang hilang menurun hingga 0.0251 g/cm^2 pada *cycle* ke-10. Pada hasil SEM pengaruh *thermal cycle* menurunkan presentase porositas yang ada hingga mencapai 1,529% pada *cycle* ke-10. Uji XRD dan EDS menampilkan adanya perubahan fasa selama *thermal cycle*. *Thermal cycle* menyebabkan peningkatan kekuatan adhesi hingga 10.29 MPa pada *cycle* ke-10. *Thermal cycle* juga menyebabkan kekerasan mikro meningkat hingga 780.5 HV pada *cycle* ke-5 dan adanya sedikit penurunan pada *cycle* ke-10 menjadi 774.47 HV serta menurunkan nilai kekasaran hingga $14.72 \mu\text{m}$ pada *cycle* ke-10.

Kata Kunci: Boiler, SS 304, NiCrSiB, Thermal cycle, Daya Lekat, Ketahanan Abrasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Effect of Thermal Cycle on Abrasion and Adhesion Strength of NiCrSiB Coated on SS 304 Using Flame Spray & Fused Method

Name : Muhammad Ridho Azhari
SRN : 2713 100 079
Major : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si

Metallic coating with flame spray & fused method is a solution to protect materials from the environment, especially in boiler. Erosion occurred on superheater tube that was a component from coal-fired boiler caused by flying ash from coal combustion. The condition under boiler atmosphere that operate at high temperature is simulated by thermal cycle method on this study. The purpose of this study to analyze the effect of thermal cycle on NiCrSiB coating with flame spray & fused method on its microstructure and mechanical properties. Thermal cycle causes the abrasive resistant increase up to 0.0251 g/cm² at 10th cycle. SEM result showed that thermal cycling decrease the porosity until 1,529% at 10th cycle. XRD and EDS test showed that there was a phase transformation during thermal cycle. During the thermal cycle the adhesive strength of the coating increase up to 10.29 Mpa at 10th of cycle. Thermal cycle causes the micro hardness increase up to 780.5 HV at 5th cycle and decrease at 10th cycle with the value of 774.47 HV. Thermal cycle also causes the surface roughness of coating decrease up to 14.72 μm at 10th cycle.

Keyword: Boiler, SS 304, NiCrSiB, Thermal cycle, Bonding Strength, Abrasion Resistance

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh *Thermal Cycle* Terhadap Ketahanan Adhesi dan Abrasif Pada Pelapisan SS 304 Dengan NiCrSiB Metode *Flame Spray & Fused*”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
2. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng. dan Hariyati Purwaningsih, S.Si. M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Dian Mughni Felicia S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.

6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
7. Bapak Larasanto serta rekan-rekan CV. Cipta Agung yang membantu proses penelitian.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi angkatan 2013, 2014, dan 2015.
9. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 13 Januari 2017
Penulis,

M. Ridho Azhari
2713100079

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Boiler</i>	5
2.2 Baja Tahan Karat.....	6
2.3 Baja Tahan Karat Austenitik	8
2.4 Sistem Fe-Cr-Ni	10
2.5 <i>Nickel-Based Hard Surfacing Alloy (NiCrSiBC)</i>	14
2.6 Teknologi Pelapisan.....	16
2.7 <i>Thermal Spray</i>	17
2.8 <i>Flame Spray and Fused</i>	19
2.9 Difusi	21
2.10 Abrasi	22
2.11 <i>Thermal Cycle</i>	23
2.12 Diagram Ellingham-Richardson	23
a. Difusi Vakansi	26
b. Difusi Interstiti.....	27
2.10 Penelitian Sebelumnya	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Diagram Alir Penelitian	29

3.2	Bahan Penelitian	30
3.2.1	Stainless steel SS-304	30
3.2.2	Colmonoy 6 (NiCrSiB)	31
3.3	Alat Penelitian	32
3.3.1	Mesin Gergaji Pita	32
3.3.2	Alat <i>Flame Spray & Fused</i>	32
3.3.3	Jangka Sorong Digital	33
3.3.4	Alat Uji Kekasaran Permukaan	33
3.3.5	Alat <i>SandBlast</i>	33
3.3.6	Alat Uji <i>Pull-Off</i>	34
3.3.7	Alat Uji Laju Keausan	34
3.3.8	Alat Uji Mikrohardness Vickers	35
3.3.9	Alat SEM	35
3.3.10	Alat XRD	36
3.3.11	Muffle Furnace	36
3.4	Metode Penelitian	37
3.4.1	Preparasi Spesimen AISI 304 Baja Tahan Karat Austenitik	37
3.4.2	Proses Pelapisan	38
3.4.3	Proses Thermal Cycle	38
3.5	Pengujian	39
3.5.1	<i>Surface Roughness Test</i>	39
3.5.2	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	40
3.5.3	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	40
3.5.4	<i>Pull off Bonding</i>	41
3.5.5	<i>Microhardness Vickers</i>	42
3.5.6	Ketahanan Abrasi	42
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Hasil Pengamatan Visual	43
4.2	Hasil Pengujian XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	45
4.3	Hasil Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)	50
4.4	Hasil Analisis Porositas.....	56
4.5	Hasil Pengujian Kekasaran.....	58
4.6	Pengujian Adhesi	60

4.7 Pengujian Kekerasan	63
4.8 Pengujian Abrasif	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	xxi
LAMPIRAN.....	xxv
BIODATA PENULIS.....	xlvii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Coal Fired Boiler	6
Gambar 2. 2 Dua biner diagram fase besi, menunjukkan stabilisasi austenit (nikel-besi)	11
Gambar 2. 3 Dua biner diagram fase besi, menunjukkan stabilisasi ferrit (besi-kromium)	12
Gambar 2. 4 Bagian isothermal pada 900 ° C (1652 ° F) dari diagram fasa terner Fe-Cr-Ni, menunjukkan komposisi nominal dari 18-8 stainless steel	13
Gambar 2. 5 Diagram fase baja 18%Cr, 8%Ni	13
Gambar 2. 6 Partikel Powder NiCrSiB	15
Gambar 2. 7 Hasil Pengujian Abrasif DSRW	16
Gambar 2. 8 Skema Alat Flame Spray Menggunakan Serbuk....	19
Gambar 2. 9 Contoh skema mekanisme difusi (a) difusi vakansi (b) difusi interstiti.....	21
Gambar 2. 10 Diagram Ellingham	24
Gambar 2. 11 Pengaruh Thermal Cycle Terhadap Microhardness	25
Gambar 2. 12 Koefisien Keausan Dengan Perbedaan.....	26
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 3. 2 Mesin Gergaji Pita.....	32
Gambar 3. 3 Alat Flame Spray	32
Gambar 3. 4 Jangka Sorong Digital.....	33
Gambar 3. 5 Alat Uji Kekasaran Permukaan	33
Gambar 3. 6 Alat <i>Sandblast</i>	34
Gambar 3. 7 Alat Uji Pull-Off	34
Gambar 3. 8 Alat Uji Keausan.....	35
Gambar 3. 9 <i>Vickers Microhardness Test</i>	35
Gambar 3. 10 <i>Scanning Electron Microscope</i>	36
Gambar 3. 11 Alat XRD	36
Gambar 3. 12 Muffle Furnace	37
Gambar 4. 1 Permukaan Stainless Steel Tipe 304 (a) Sebelum (b) Sesudah Abrasive Sand Blasting	43

Gambar 4. 2	Pengamatan visual permukaan coating.....	44
Gambar 4. 3	Hasil XRD sampel coating NiCrSiB (a) as-received (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle	45
Gambar 4. 4	Pola Perubahan 2θ hasil uji XRD (a) As-received (b) 1 Thermal Cycle (c) 5 Thermal Cycle (d) 10 Thermal Cycle	47
Gambar 4. 5	Pola Perubahan 2θ hasil uji XRD <i>Peak</i> Terendah (a) As-received (b) 1 Thermal Cycle (c) 5 Thermal Cycle (d) 10 Thermal Cycle	48
Gambar 4. 6	Permukaan Spesimen Coating Perbesaran 100x dengan Variasi (a) as-received (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle	50
Gambar 4. 7	Bagian Cross Section Spesimen Coating Perbesaran 250x dengan Variasi (a) as-received (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle	54
Gambar 4. 8	Grafik Besar Persentase Porositas.....	57
Gambar 4. 9	Pengaruh Jumlah Cycle	59
Gambar 4. 10	Tampak atas hasil <i>pull off strength</i> NiCrSiB coating.....	60
Gambar 4. 11	Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Kekuatan Adhesi 61	
Gambar 4. 12	Gambar Hasil Pengujian Pull off Strength (a) as- received (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle.....	62
Gambar 4. 13	Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Kekerasann....	64
Gambar 4. 14	Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Laju Keausan	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia dan Nilai Sifat Mekanis Baja Tahan Karat Tipe Austenitik	9
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia (wt. %) Powder Paduan Berbasis NiCrSiB	15
Tabel 2. 3 Semi-kuantitatif Analisis Kimia-XRF (wt%) Untuk Ni, Cr, Fe, dan Si	26
Tabel 2. 4 Parameter Keausan dengan Perbedaan Proses	27
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Material SS-304	30
Tabel 3. 2 Propertis Fisik SS-304	30
Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Colmonoy 6 (NiCrSiB)	31
Tabel 3. 4 Propertis Fisik Powder Colmonoy 6	31
Tabel 4. 1 Data Posisi Peak (2 Theta)	47
Tabel 4. 2 Data Posisi Peak Terendah (2 Theta)	49
Tabel 4. 3 Perbandingan Hasil Pengujian EDS di Berbagai Variabel	52
Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Porositas Dengan Menggunakan Image Analysis Image J Untuk Keempat Variasi Sampel	56
Tabel 4. 5 Hasil Persentase Porositas Densitas	58
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Kekasaran	59
Tabel 4. 7 Hasil Uji Adhesi	60
Tabel 4. 8 Nilai Kekerasan Variabel	63
Tabel 4. 9 Nilai Laju Keausan Variabel	65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu jenis bahan bakar yang sering digunakan untuk menghasilkan energi panas pada pembangkit listrik. Pembangkit listrik seperti PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara akan menghasilkan energi dari uap panas hasil pembakaran di dalam *boiler*. *Boiler* merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas (*steam*) yang bersuhu sekitar 2500-30000^oF. *Steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses untuk membangkitkan energi. Volume *steam* akan meningkat sekitar 1600 kali dari volume air. *Steam* menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak. *Boiler* tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem boiler adalah *superheater tube*. *Superheater* berfungsi untuk mengkonversi uap jenuh atau uap basah menjadi *superheated steam* atau uap kering (Akbar, et al., 2009).

Komponen *superheater tube* pada *boiler* umumnya terbuat dari bahan yang memiliki ketahanan terhadap tekanan dan temperatur tinggi, salah satunya yaitu *stainless steel* tipe 304. *Stainless steel* tipe 304 merupakan baja tahan karat jenis austenitic yang terdiri dari baja paduan nikel dan krom. Namun, terdapat masalah yang sulit dihindari pada komponen *superheater tube boiler*, salah satunya yaitu erosi. Erosi adalah proses keausan dimana material terlepas dari permukaan padat dengan adanya aksi partikel padat yang menumbuk permukaan tersebut. Keausan jenis ini cukup umum di banyak perangkat industri termasuk boiler. Produk pembakaran batubara mengandung partikel abu yang berterbangan menumbuk permukaan tabung boiler dan mengikis permukaan tersebut. Erosi adalah penyebab paling penting kedua untuk kegagalan pada tabung boiler. Dalam pembangkit listrik



berbahan bakar batubara, terdapat sekitar 20% dari abu yang dihasilkan dalam boiler diendapkan pada dinding *boiler*, *economizers*, pemanas udara dan *superheater tube*. Endapan abu ini kemudian dibuang sebagai slag dan klinker selama proses peniupan jelaga. Partikel abu ini bertabrakan dengan komponen baja boiler dan menyebabkan erosi permukaan yang luas. Erosi tersebut bersama-sama dengan proses blocking dan korosi memperpendek umur komponen boiler. Setelah ini terjadi, unit pembangkit listrik harus dimatikan untuk mengganti komponen kerusakan. Karena proses produksi ini harus dihentikan (Kumar and Kanwar, 2012).

Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem pencegahan erosi abrasi untuk memperpanjang masa pakai dari mesin tersebut. Dalam penelitian ini digunakan metode pelapisan *thermal spraying* sebagai solusi terhadap erosi yang terjadi. Pelapisan adalah proses penambahan atau penumpukan suatu material ke suatu permukaan material lain (atau material yang sama). Pada umumnya pelapisan diterapkan ke suatu permukaan dengan tujuan untuk melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak), untuk meningkatkan penampilan permukaan, dan untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain. Pelapisan terdiri atas bermacam-macam teknik pelapisan dan pemilihannya didasarkan atas permintaan fungsional, kemampuan adaptasi material pelapis terhadap teknik yang digunakan, serta tingkat adhesi (perekatan) yang diminta. Teknik-teknik ini dibagi menjadi *metallic* dan *non-metallic*. *Metallic coating deposition* dianggap menjadi tiga kategori, dimana *hard facing* menjadi teknik yang dipentingkan dalam tugas ini. Ada tiga teknik dalam *hard facing* yaitu *cladding*, *welding*, dan *thermal spraying*. *Thermal spraying* merupakan salah satu teknik rekayasa permukaan, yaitu dengan mendepositkan partikulat dalam bentuk cair, semi-cair, atau padat ke substrat atau sekelompok proses dimana material pelapis (*feedstock material*) dipanaskan dan didorong sebagai partikel individu atau *droplets* ke suatu permukaan (*base material/substrat*) (Pawlowski, 2008).

BAB I PENDAHULUAN



Pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan dan menganalisa pengaruh *thermal cycling* terhadap nilai kekuatan adhesi dan abrasif pada material SS-304 untuk aplikasi *superheater tube boiler*.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan uraian pada latar belakang, maka didapatkan permasalahan yang dicari, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *thermal cycling* terhadap struktur mikro pada pelapisan SS-304 dengan NiCrSiB metode *flame sprayed and fused*?
2. Bagaimana pengaruh *thermal cycling* terhadap sifat mekanik pada pelapisan SS-304 dengan NiCrSiB metode *flame sprayed and fused*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut:

1. Pengaruh lingkungan sekitar diabaikan.
2. Feed pressure dianggap konstan.
3. Jarak *nozzle* dianggap sama.
4. Sudut *nozzle* dianggap sama.
5. Waktu *spray* dianggap sama
6. Spesimen uji dianggap homogen dan tanpa cacat.
7. Berat massa *powder* diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh *thermal cycling* terhadap struktur mikropada pelapisan SS-304 dengan NiCrSiB metode *flame sprayed and fused*?
2. Menganalisa pengaruh *thermal cycling* terhadap sifat mekanik pada pelapisan SS-304 dengan NiCrSiB metode *flame sprayed and fused*?



1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai rekomendasi kepada pihak terkait dalam penanganan *stainless steel* tipe 304 pada aplikasi *superheater tube boiler* serta sebagai inspirasi dan referensi bagi peneliti lain untuk mengembangkan penelitian ini.



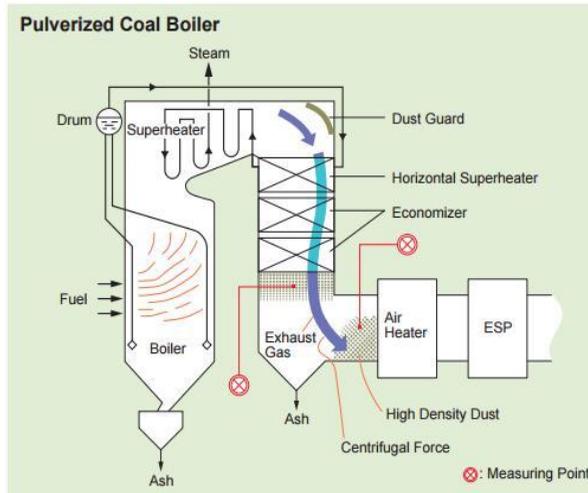
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Boiler*

Dalam konteks tradisional, *boiler* adalah sebuah wadah tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan panas dari pembakaran dan ditransfer ke media kerja (air) hingga menjadi gas (uap). Satu hal simpel mengatakan bahwa *boiler* adalah sebagai penkonversi panas. *Boiler* adalah bagian dari proses pembangkit listrik tenaga uap yang menghasilkan uap dan memberikan panas. Uap atau air panas di bawah tekanan kemudian digunakan untuk mentransfer panas ke sebuah proses yang menggunakan panas dalam uap dan mengubahnya menjadi sebuah kerja. Sebuah boiler uap memenuhi pernyataan berikut:

- Bagian dari jenis mesin pemanas
- Panas dihasilkan melalui pembakaran (*burning*)
- Memiliki fluida kerja, pembawa panas yang mentransfer panas yang dihasilkan dari *boiler*
- Media pemanas dan fluida kerja dipisahkan oleh dinding

Dalam konteks industri / teknis, konsep "*steam boiler*" (juga disebut sebagai "generator uap") yang meliputi seluruh sistem kompleks untuk memproduksi uap untuk digunakan seperti, turbin dalam proses industri. Hal ini mencakup semua fase yang berbeda dari perpindahan panas dari panas menjadi air / campuran uap (*economizer, boiler, superheater, reheater* dan *air reheater*). Ini juga mencakup perbedaan sistem tambahan (seperti bahan bakar, pengolahan air, saluran gas buang termasuk *stack*). Panas yang dihasilkan di bagian tungku *boiler*, dimana tempat terjadinya proses pembakaran. Bahan bakar yang digunakan dalam *boiler* mengandung energi kimia terikat (seperti batubara, limbah dan bahan bakar nabati) atau energi nuklir.



Gambar 2. 1 Coal Fired Boiler
(Yokogawa, 2006)

Sebuah boiler harus dirancang untuk menyerap jumlah maksimum panas yang dilepaskan dalam proses pembakaran. Panas ini ditransfer ke *boiler* melalui radiasi, konduksi dan konveksi. Persentase relatif masing-masing tergantung pada jenis boiler, permukaan perpindahan panas yang dirancang dan bahan bakar yang menjalankan pembakaran (Teir, 2002).

2.2 Baja Tahan Karat

Baja tahan karat sebagai paduan berbasis besi yang mengandung setidaknya 10.5% kromium dan maksimum 1.2% karbon. Chromium membuat kelompok paduan tahan karat ini luas dan kompleks. Baja tahan karat memiliki unsur paduan nikel hingga 38%. Sifat dari baja tahan karat dapat disesuaikan dengan beberapa elemen paduan selain kromium dan nikel. Unsur-unsur tersebut meliputi karbon, belerang, aluminium, molibdenum, tungsten, nitrogen, tembaga, titanium, niobium, zirconium, cerium,

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



mangan, kalsium dan silikon. Kunci untuk ketahanan korosi dari baja tahan karat adalah konten kromium: dalam pengaruh oksigen dari udara atau air, kromium dengan cepat membentuk lapisan kromium (III) oksida yang sangat tipis pada permukaan baja. Lapisan pasif ini sangat efektif memisahkan bahan dari lingkungan. Hal ini koheren dan tidak larut dalam kondisi normal. Lapisan akan *self-healing* apabila kontak dengan oksigen dari udara atau air. Efek dari unsur-unsur lain hanya untuk mempengaruhi efektivitas kromium dalam membentuk atau mempertahankan film (misalnya nikel mempromosikan re-pasifasi, terutama dalam mengurangi lingkungan, dan molibdenum menstabilkan lapisan pasif terhadap klorida). Meningkatkan kandungan kromium, dari minimal 10,5% yang diperlukan untuk "*stainless steel*", menjadi 17 sampai 20%, sangat meningkatkan stabilitas lapisan pasif. Unsur-unsur seperti tembaga, nitrogen, nikel dan molibdenum membantu baja tahan korosi tetapi efeknya terbatas jika chromium tidak ada. (Santonen, et al., 2010)

Baja tahan karat sangat tahan terhadap korosi (karat) dalam berbagai lingkungan, terutama atmosfer lingkungan. Unsur paduan utama mereka adalah kromium, dengan konsentrasi minimal 11% berat Cr yang diperlukan. Ketahanan korosi juga dapat ditingkatkan dengan penambahan nikel dan molibdenum. Baja tahan karat dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan fase konstituen utama dari struktur mikro martensitik, feritik, atau austenitik. Berbagai macam sifat mekanik dikombinasikan dengan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi membuat baja tahan karat sangat fleksibel dalam penerapannya.

Baja tahan karat martensit mampu dilakukan perlakuan panas sedemikian rupa sehingga martensit mendapat mikrostruktur yang prima. Penambahan elemen paduan dalam konsentrasi yang signifikan menghasilkan perubahan dramatis dalam diagram fasa karbida besi. Untuk baja tahan karat austenitik, bidang fase austenit (γ) diperpanjang sampai temperatur kamar. Baja tahan karat feritik terdiri dari ferit fase (BCC). Austenitik dan feritik stainless steel dikeraskan dan diperkuat dengan kerja dingin karena mereka tidak



dapat dilakukan perlakuan panas. *Austenitic stainless steel* paling tahan korosi karena memiliki kromium yang cukup tinggi dan juga adanya penambahan nikel dan mereka diproduksi dalam jumlah terbesar. Kedua baja tahan karat martensit dan feritik bersifat magnetis sedangkan austenitik tidak. Beberapa baja tahan karat sering digunakan pada temperatur yang tinggi dan di lingkungan yang parah karena mereka melawan oksidasi dan menjaga integritas mekanik mereka di bawah kondisi seperti itu, batas temperatur atas di pengoksidasi atmosfer adalah sekitar 1000°C (1800°F). Peralatan atau komponen yang menggunakan baja ini adalah turbin gas, ketel uap temperatur tinggi (*boiler*), *furnace*, pesawat, rudal, dan unit pembangkit listrik tenaga nuklir (Callister, 2007).

2.3 Baja Tahan Karat Austenitik

Baja tahan karat austenitik terdiri dari kromium (16-28%), nikel (6-38%) dan besi. kandungan karbon biasanya tetap rendah (<0.08%). Unsur-unsur lain paduan (molibdenum, misalnya) dapat ditambahkan atau konten paduan dimodifikasi dengan kandungan nikel yang lebih rendah dari seri 200 tergantung pada sifat yang diinginkan. Kelompok austenitik memiliki kelas yang digunakan dalam jumlah yang lebih besar dari kategori lain dari stainless steel. Aplikasi mereka termasuk dalam peralatan kimia, pengolahan makanan, peralatan penanganan, peralatan rumah tangga, peralatan rumah sakit, peralatan farmasi, badan mobil kereta api, perabot jalan, dan bahkan *stent koroner*, yang merupakan tabung logam kecil ditanamkan di arteri jantung untuk mencegah mereka menutup. Baja tahan karat austenitik menunjukkan ketahanan korosi unggul, baik baja tahan karat feritik dan martensit. Baja tahan karat ini memiliki ketangguhan yang tinggi pada temperatur kriogenik. Mereka menunjukkan ekspansi termal yang lebih besar dan kapasitas panas, dengan konduktivitas termal rendah dari baja tahan karat atau konvensional lainnya. Mereka umumnya mudah dilas. Baja tahan karat austenitik sering digambarkan sebagai non-

magnetik, tetapi dapat menjadi sedikit magnet ketika dilakukan permesinan atau bekerja (Santonen, Stockmann and Zitting, 2010).

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia dan Nilai Sifat Mekanis Baja Tahan Karat Tipe Austenitik (Institute, 2005)

Tip e	Komposisi							
	C Max. (%)	Mn Max. (%)	P Max. (%)	S Max. (%)	Si Max. (%)	Cr Max. (%)	Ni Max. (%)	Mo Max. (%)
201	0.15	7.50	0.060	0.030	1.00	18.00	5.50	
202	0.15	10.00	0.060	0.030	1.00	19.00	6.00	
301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	8.00	
303	0.15	2.00	0.20	0.15(min)	1.00	19.00	10.00	
304	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	20.00	10.50	
304 L	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	20.00	12.00	
305	0.12	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	13.00	
316	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	14.00	3.00
316 L	0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	14.00	3.00
321	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	12.00	



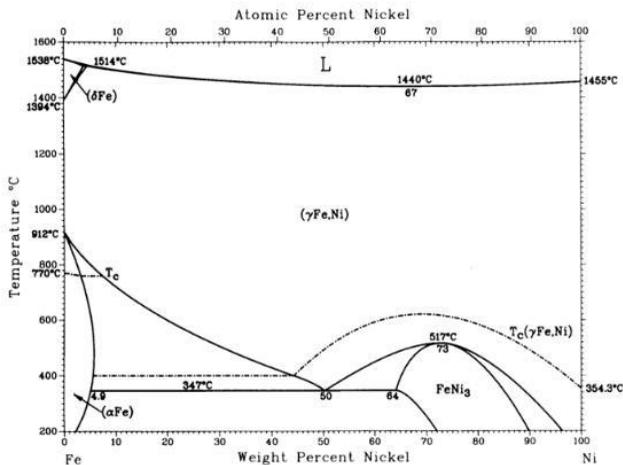
Tipe	Tensile Strength		Yield Strength		Elongation in 2"(50.80mm) (%)	Hardness (Rockwell B) HRB
	Ksi	Mpa	Ksi	Mpa		
201	95	655	45	310	40	90
202	90	612	45	310	40	90
301	110	758	40	276	60	85
303	90	621	35	241	50	
304	84	579	42	290	55	80
304L	81	558	39	269	55	79
305	85	586	38	262	50	80
316	84	579	42	290	50	79
316L	81	558	42	290	50	79
321	90	621	35	241	45	80

2.4 Sistem Fe-Cr-Ni

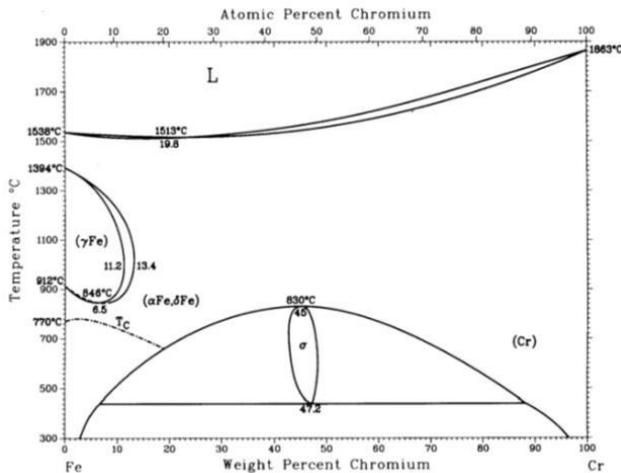
Banyak besi cor komersial dan baja mengandung unsur penstabil-ferrit (seperti silikon, kromium, molibdenum, dan vanadium) dan / atau stabilisator austenit (seperti mangan dan nikel). Diagram untuk sistem besi-kromium biner merupakan perwakilan dari efek penstabil ferit. Pada temperatur di bawah solidus, *body-centered cubic* (bcc) chromium membentuk larutan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

padat terus menerus dengan bcc (δ) ferit. Pada temperatur yang lebih rendah, fase γ -besi muncul di sisi besi dari diagram dan membentuk "lingkaran" memperluas sekitar 11,2% Cr. Paduan mengandung sampai 11,2% Cr, dan karbon yang cukup, yang *hardenable* dengan pendinginan dari temperatur dalam lingkaran. Pada temperatur yang masih lebih rendah, bcc larutan padat lagi yang terus menerus dengan ferit bcc, tapi kali ini dengan α -besi. Bidang fase bcc ini terus menerus menegaskan bahwa δ -ferit adalah sama dengan α -ferit. Ketiadaan γ -besi di zat besi paduan kromium memiliki lebih dari sekitar 13% Cr, dengan tidak adanya karbon, merupakan faktor penting baik dalam nilai *hardenable* dan *nonhardenable* dari baja tahan karat besi-kromium.

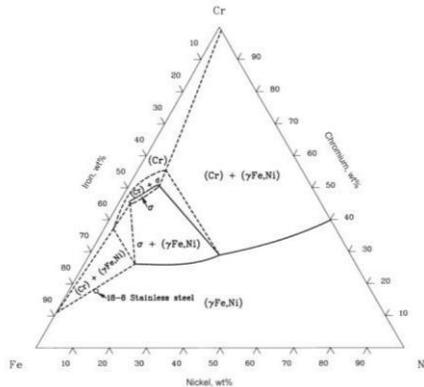


Gambar 2. 2 Dua Biner Diagram Fase Besi, Stabilisasi Austenit (Nikel-Besi) (Campbell, 2012)

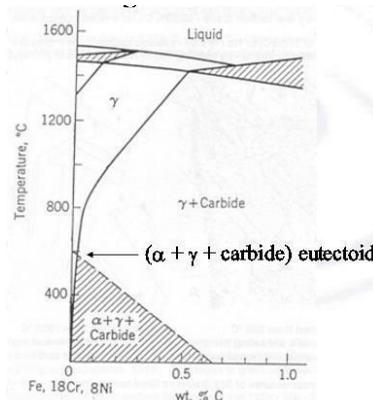


Gambar 2. 3 Dua Biner Diagram Fase Besi, Menunjukkan Stabilisasi Ferrit (Besi-Kromium) (Campbell, 2012)

Pada temperatur yang lebih rendah, material yang dikenal sebagai fase σ juga muncul dalam jumlah yang berbeda dari sekitar 14 hingga 90% Cr. Ini adalah keras, fase rapuh dan biasanya harus dihindari pada baja tahan karat komersial. Pembentukan σ , bagaimanapun, tergantung waktu; waktu yang lama pada temperatur tinggi biasanya diperlukan. Diagram untuk sistem besi-nikel biner merupakan perwakilan dari efek penstabil austenit (Gambar. 2.2). (FCC) nikel membentuk larutan padat terus menerus dengan fcc (γ) austenit yang mendominasi diagram, meskipun bidang fase α -ferrit meluas ke sekitar 6% Ni. Diagram untuk sistem Fe-Cr-Ni terner menunjukkan bagaimana penambahan ferrit-menstabilkan kromium mempengaruhi sistem besi-nikel (Gambar. 2.3). Seperti dapat dilihat, yang populer 18-8 stainless steel, yang berisi sekitar 8% Ni, adalah paduan semua-austenit pada 900 ° C (1652 ° F), meskipun juga mengandung sekitar 18% Cr (Campbell, 2012).



Gambar 2. 4 Bagian isothermal pada 900 ° C (1652 ° F) dari diagram fasa terner Fe-Cr-Ni, menunjukkan komposisi nominal dari 18-8 stainless steel (Campbell, 2012)



Gambar 2. 5 Diagram fasa baja 18%Cr, 8%Ni (Campbell, 2012)

Gambar 2.5 memperlihatkan penampang diagram fasa pada 18%Cr, 8%Ni. Dari diagram fasenya terlihat bahwa daerah austenite mencapai temperature kamar, sehingga pada karbon rendah, dalam keadaan annealed, strukturnya terdiri dari austenite,



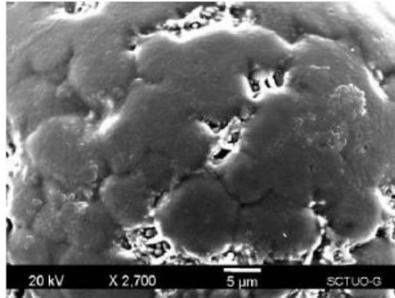
karenanya walaupun dilakukan quenching tidak akan terjadi transformasi, jadi tidak dapat dikeraskan

2.5 Nickel-Based Hard Surfacing Alloy (NiCrSiB)

Pelapisan berbasis Ni digunakan dalam aplikasi ketika ketahanan aus dikombinasikan dengan oksidasi atau ketahanan korosi panas (*hot corrosion resistance*) diperlukan. *Nickel-base self-fluxing alloys* saat ini dan biasa digunakan dalam industri kimia, industri bensin, industri cetakan kaca dan untuk katup, *hot working punches*, baling-baling kipas, *mud purging element* di pabrik-pabrik semen. Keuntungan mereka terutama yang berkaitan dengan lapisan yang besar untuk ukuran komponen seperti batang piston, *earth-working machine*, dll (Miguel, dkk. 2003).

Paduan NiCrSiB adalah hasil dari penambahan logam paduan berbasis Ni dalam hal meningkatkan sifat tertentu. Chromium memberikan ketahanan terhadap oksidasi dan korosi temperatur tinggi dan meningkatkan kekerasan lapisan dengan membentuk endapan yang sangat keras. Boron menurunkan temperatur leleh dan membantu dalam pembentukan fase yang sulit. Silikon ditambahkan untuk meningkatkan sifat *self-fluks*. Karbon menghasilkan karbida dengan tingkat kekerasan tinggi yang meningkatkan ketahanan aus lapisan (Gonzalez, et al., 2007).

NiCrSiB sangat baik dalam ketahanan terhadap abrasi, korosi, dan *impact*. Paduan ini memiliki kekerasan yang sangat baik serta sifat mampu lasnya. NiCrSiB sangat stabil dan tidak anil. Paduan ini unggul dalam hal keausan antara logam-ke-logam karena koefisien gesek yang rendah. Paduan ini dapat dibentuk melalui kerja panas dalam kondisi plastis (antara solidus dan temperatur cair). NiCrSiB dilakukan dengan *spray deposit* dan *fused* untuk mencapai berbagai kekerasan Rockwell C 56-63. Boride mengandung paduan Ni (dalam system paduan NiCrSiB) dimana merupakan bukti keseimbangan yang baik antara keausan dan ketahanan korosi dalam lingkungan kimia agresif dan kondisi kerja temperatur tinggi (Silva and C.M.D'Oliveira, 2016).



Gambar 2. 6 Partikel Powder NiCrSiB (González, et al., 2007)

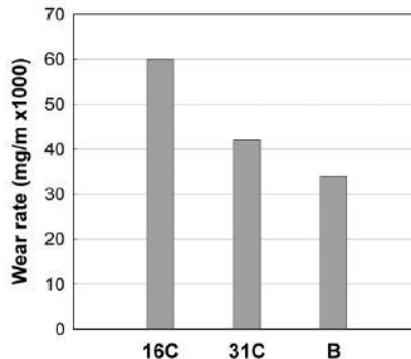
(Kim, et al., 2003) Melakukan penelitian untuk membandingkan nilai kekerasan dan laju keausan dari paduan-paduan berbasis NiCrSiB dengan perbedaan komposisi penyusun. Terdapat 4 sampel dengan perbedaan komposisi yang akan diteliti dimana sampel B memiliki komposisi yang sangat mendekati dengan komposisi colmonoy 6 (NiCrSiB).

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia (wt. %) Powder Paduan Berbasis NiCrSiB (Kim, et al. 2003)

Nama Produk	Kode Sampel	C	Si	B	Fe	Cr	Cu	Mo	Ni	WC-Co
Metco 16C	16C	0.5	4.0	4.0	2.5	16.0	3.0	3.0	Bal.	-
Metco 31C	31C	0.5	2.5	2.5	2.5	11.0	-	-	46	35
HMSP 1355-20	A	0.5	4.0	3.4	2.6	15.6	2.7	2.8	Bal.	-
HMSP 1360-20	B	0.9	4.3	3.3	4.2	16.3	-	-	Bal.	-



(Kim, et al., 2003) Melakukan perbandingan antara 3 sampel uji yaitu, sampel 16C, 31C, dan B yang ditunjukkan oleh Gambar 2.6. Pengujian dilakukan dengan menggunakan abrasif DSRW. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui laju keausan diantara ketiganya. Diperoleh hasil bahwa sampel 16C mengalami kehilangan masa yang paling banyak sebesar 60 mg/m x1000 diikuti dengan sampel 31C sebesar 42 mg/m x1000. Sampel B memiliki laju keausan yang paling baik di antara ketiga sampel pada pengujian abrasive DSRW. Sehingga sampel B lebih baik digunakan sebagai material coating untuk aplikasi keausan.



Gambar 2. 7 Hasil Pengujian Abrasif DSRW
(Kim, et al., 2003)

2.6 Teknologi Pelapisan

Pelapisan (*coating*) adalah proses penambahan atau penumpukan suatu material ke suatu permukaan material lain (atau material yang sama). Pada umumnya pelapisan diterapkan ke suatu permukaan dengan tujuan untuk:

1. Melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak).
2. Untuk meningkatkan penampilan permukaan.
3. Untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain.



Pelapisan terdiri atas bermacam-macam teknik pelapisan dan pemilihannya didasarkan atas permintaan fungsional (ukuran, bentuk, dan metalurgi substrat), kemampuan adaptasi material pelapis terhadap teknik yang digunakan, tingkat adhesi (perekatan) yang diminta, serta ketersediaan dan harga peralatannya. Teknik-teknik ini dibagi menjadi *metallic* dan *non-metallic*. *Metallic coating deposition* dibagi menjadi tiga kategori. Ada tiga teknik dalam *hard facing* yaitu *cladding*, *welding*, dan *thermal spraying*.

Pada teknik *cladding*, lembaran logam (ketebalan antara 10 mikron sampai beberapa mm) dilekatkan secara metalurgi ke substrat logam untuk menghasilkan struktur komposit. Terdapat beberapa teknik *cladding* yaitu deformasi *cladding*, *diffusion bonding*, *brazing cladding*, *weld cladding*, dan *laser cladding*. Pada deformasi *cladding*, logam dilekatkan oleh kombinasi *gross plastic flow* (oleh tekanan) atau *impact* (benturan), dan panas untuk menimbulkan kontak dan *intermixing*. Pada *diffusion bonding*, panas dan tekanan di bawah lingkungan yang terkendali menyebabkan penggabungan dua buah permukaan yang bersentuhan. Pada *brazing cladding*, permukaan yang ditempel dilapisi seperti sandwich dengan material *brazing* (bentuknya bubuk, pasta, rod, kawat (*wire*), *strip* atau foil), dan dilekatkan secara metalurgi dengan pemanasan. Pada *weld* atau *laser cladding*, logam dilelehkan atau didifusikan ke substrat. Logam pelapis bisa dalam bentuk *cast rod*, *strip*, *wire*, atau bubuk (*powder*) dan dilelehkan dengan busur api plasma untuk *weld cladding*, atau dengan sorotan laser untuk *laser cladding* (Pawlowski, 2008).

2.7 Thermal Spray

Thermal spray adalah istilah umum untuk kelompok proses pelapisan yang digunakan untuk menerapkan logam atau pelapisan *non-logam*. Proses ini dikelompokkan menjadi tiga kategori utama: *flame spray*, *electric arc spray*, dan *plasma spray*. Sumber energi ini digunakan untuk memanaskan bahan pelapis (dalam bentuk bubuk, kawat, atau bentuk batang) ke keadaan cair atau



semimolten. Hasil partikel yang dipanaskan dipercepat dan didorong ke arah permukaan yang disiapkan dengan baik oleh gas proses atau jet atomisasi. Setelah ditembak, sebuah ikatan terbentuk dengan permukaan, dengan partikel berikutnya menyebabkan penumpukan tebal dan membentuk struktur lamelar. "Percikan" tipis mengalami pendinginan yang sangat tinggi, biasanya lebih dari 10^6 K / s untuk logam.

Keuntungan utama dari proses *thermal spray* adalah bahan yang bisa digunakan sangat beragam untuk menghasilkan lapisan. Hampir semua bahan yang meleleh tanpa mengurai dapat digunakan. Keuntungan utama kedua adalah kemampuan sebagian besar proses *thermal spray* untuk menerapkan pelapisan substrat tanpa *heat input* yang signifikan. Dengan demikian, bahan dengan titik leleh yang sangat tinggi, seperti tungsten, dapat diterapkan, bagian-bagian dipanaskan sepenuhnya tanpa mengubah sifat bagian dan tanpa distorsi termal yang berlebihan. Keuntungan ketiga adalah kemampuan, dalam banyak kasus, untuk melepaskan dan *recoat* lapisan yang aus atau rusak tanpa mengubah sifat bagian atau dimensi. Kerugiannya adalah sifat *line-of-sight* dari proses penguraian ini (Davis, 2013).

Ada beberapa metode yang berbeda untuk penyemprotan, tetapi semua didasarkan pada prinsip yang sama. Bahan coating, kawat atau bubuk, dimasukkan ke dalam pistol penyemprotan, dipanaskan hingga mencapai kondisi cair atau semi cair dan disemprotkan oleh gas atau udara ke arah komponen yang ingin dilindungi. Logam menempel pada komponen seperti percikan dan kemudian mendingin. Mekanisme ikatan yang terbentuk biasanya terjadi secara mekanik, dan dalam beberapa kasus ikatan terjadi secara metalurgi. Setiap lapisan menempel dengan lapisan sebelumnya, menyusun struktur lamelar, yang sayangnya biasa terjadi dengan beberapa inklusi, oksida dan pori-pori (Siegmund, 1997).

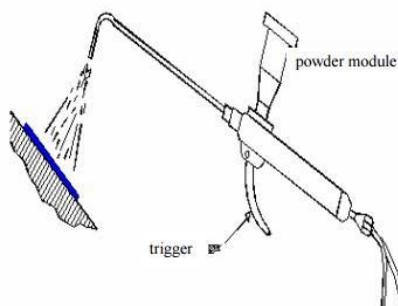
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



2.8 *Flame Spray and Fused*

Ada sejumlah teknik untuk mencairkan dan mendorong bahan *coating*. Flame spray salah satu yang paling umum diterapkan dari mereka. Hal ini juga salah satu yang paling ekonomis, dan dapat diterapkan untuk berbagai bahan. Namun, *flame-spray coatings* memiliki kelemahan yang cukup seperti porositas yang tinggi (10-20%), ketidaglekatan terhadap substrat (tidak memiliki ikatan mekanik) dan pembentukan oksida antar-layer. Hasil peleburan dari lapisan *coating* sangat mampu mengurangi porositas dan menciptakan ikatan metalurgi antara lapisan dan bahan dasar, yang juga meningkatkan kohesi antara partikel dari lapisan (González, et al., 2007).

Flame spray berfungsi untuk menyelubungi substrat dengan basis material serbuk. Ini teknik yang diterapkan secara luas bukan karena itu adalah salah satu pilihan yang paling ekonomis tetapi juga karena dapat diterapkan untuk berbagai bahan. Di antara bahan penyemprotan, paduan berbasis nikel yang secara luas digunakan karena mereka menampilkan ketahanan yang baik terhadap keausan atau erosi, oksidasi dan korosi temperatur tinggi, serta yang biaya rendah. Mereka umumnya digunakan dalam komponen mekanis seperti rol dalam table pendingin di *hot strip mills*, ring pompa dan piringan.



Gambar 2. 8 Skema Alat Flame Spray Menggunakan Serbuk
(Chaithanya 2007)



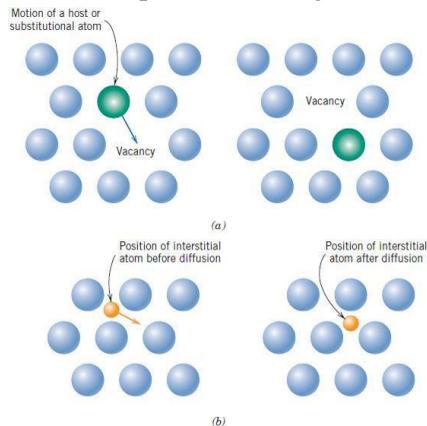
Meskipun *flame spray deposited coatings* memiliki kelemahan yang cukup seperti porositas tinggi (10-20%) dan ketidakpatuhan terhadap substrat (ikatan mekanik), hasil peleburan dari lapisan sangat mengurangi porositas dan menciptakan ikatan metalurgi dengan bahan dasar serta meningkatkan kohesi antara partikel dari lapisan. Ada berbagai metode untuk mencairkan lapisan *flame spray*, seperti pencairan induksi, tungku peleburan dan *flame melting*. Yang terakhir dari ketiga metode tersebut adalah yang paling umum digunakan dalam pandangan fleksibilitas dan untuk alasan ekonomi. Hal ini didasarkan pada penerapan gas asetilin. Namun, tidak ada mekanisme kontrol yang tepat untuk aplikasi industri, sehingga hasil yang memuaskan tidak dapat dijamin. Fakta bahwa pengendalian parameter yang baik akan menyarankan bahwa karakteristik tertentu dari lapisan dapat diperbaiki, yang pada gilirannya akan memberikan keausan lebih kekal (Gonzalez, et al., 2007).

Flame spray & fuse adalah teknik yang melibatkan *thermal spraying* untuk menerapkan lapisan paduan berbasis kobalt atau nikel. Lapisan tersebut selanjutnya dilakukan *post heat* pada temperatur antara solidus dan likuidus dari paduan, ketika proses difusi berlangsung. Temperatur tersebut biasanya antara 1200-1400 K. *Fusing* biasanya dilakukan oleh *manual fusing* menggunakan asetilin atau dalam tungku. Lapisan yang diperoleh oleh proses ini menunjukkan peningkatan kekuatan ikatan antara lapisan dan substrat. Namun demikian, proses *fusing* memiliki beberapa masalah. Hal ini tidak mungkin untuk dilakukan perlakuan panas dengan semua substrat karena kemungkinan lapisan dengan substrat tidak cocok. Selain itu, pada temperatur tinggi, transformasi fasa yang terbentuk dalam substrat adalah sifat yang buruk. Siklus termal (*thermal cycle*) harus dikendalikan, jika tidak, tegangan sisa yang dihasilkan oleh transformasi fasa dapat menyebabkan retaknya lapisan (Miguel, et al., 2003).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.9 Difusi

Banyak reaksi dan proses yang sangat penting dalam perlakuan suatu material seperti pada transfer massa dalam kepadatan yang spesifik (umumnya pada tingkat mikroskopik) atau dari likuid, gas, atau fasa solid lainnya. Hal ini perlu diperhatikan dengan difusi, sebuah fenomena transport material dengan gerak atomik. Secara prespektif atomic, difusi adalah migrasi sebuah atom dari kisi ke kisi lainnya. Pada kenyataannya atom pada benda padat/solid dalam keadaan konstan, dan secara cepat berubah posisi. Pada sebuah atom untuk membuat suatu gerakan terdapat dua kondisi yang memungkinkan pergerakan terjadi: (1) harus terdapat daerah kosong yang bersebelahan dan (2) atom harus memiliki energi yang cukup untuk memutuskan ikatan dengan atom sampingnya dan hal ini menyebabkan distorsi kisi saat proses pergeseran. Pada temperatur tertentu beberapa fraksi dengan jumlah kecil dari total nomor atom dapat memungkinkan gerak difusi, oleh besarnya energi getaran. Jumlah fraksi ini meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Beberapa model dari gerak atomik telah ditemukan sebelumnya, untuk difusi metalik terdapat dua kemungkinan model difusi.



Gambar 2.9 Contoh skema mekanisme difusi (a) difusi vakansi (b) difusi interstiti (Callister, 2007)



a. Difusi Vakansi

Suatu mekanisme dimana melibatkan perubahan sebuah atom dari posisi kisi normal ke kisi yang bersebelahan dimana terdapat daerah kekosongan pada kisi seperti yang ditampilkan pada gambar 2.9 (a). Mekanisme ini yang dimaksud dengan difusi vakansi. Tentunya proses difusi ini sangat memerlukan vakansi/kekosongan dan daerah dimana difusi vakansi dapat terjadi sebagai fungsi dari nilai cacat (defect) yang diterima. Konsentrasi yang signifikan dari vakansi dapat terjadi pada logam dalam kondisi temperatur tertentu. Difusi atom dan perubahan vakansi atau daerah kekosongan, difusi atom pada satu arah berkaitan dengan pergerakan dari vakansi dengan arah sebaliknya. Baik self-diffusion dan interdiffusion terjadi dengan mekanisme ini.

b. Difusi Interstiti

Model kedua dari difusi adalah keterlibatan atom dalam migrasi dari posisi interstitial ke daerah sebelahnya yang masih kosong. Mekanisme ini ditemukan pada untuk interdiffusion dari impuritas atau pengotor seperti hidrogen, carbon, nitrogen, dan oksigen, dimana memiliki yang ukuran atom kecil untuk cukup menyusup pada bagian interstiti. Seperti yang ditampilkan pada gambar 2.9 (b), fenomena ini yang dinamakan dengan difusi interstiti.

Pada kebanyakan paduan logam, difusi interstiti terjadi lebih cepat dibandingkan dengan model difusi vakansi, sejak atom interstiti lebih kecil dan lebih mudah mengalami pergerakan. Terlebih dari itu, lebih banyak posisi kekosongan interstiti daripada vakansi. Oleh karena itu kemungkinan pergerakan atom interstiti lebih besar daripada difusi vakansi (Callister, 2007).

2.10 Abrasi

Dua buah atau lebih benda yang mengalami kontak dan bergerak relatif satu sama lain akan menimbulkan gaya gesek. Bentuk dan arah gesekan yang ditimbulkan tergantung bagaimana profil, dimensi dan arah gerak dari masing-masing benda. Adanya



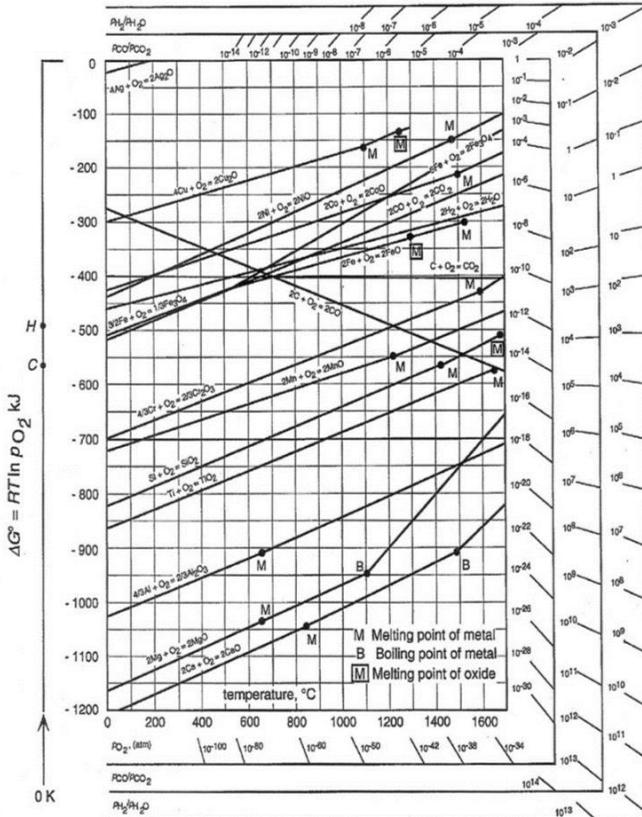
gesekan akan menyebabkan terjadinya kerusakan berupa hilangnya material dari permukaan benda, yang dinamakan keausan/abrasi. Abrasi yang lebih besar akan terjadi pada benda yang kekerasannya lebih rendah. Berbagai faktor yang mempengaruhi abrasi adalah kecepatan gerak, besarnya beban, profil permukaan serta kekerasan (*hardness*) dari material itu sendiri. Gesekan antar permukaan juga akan menimbulkan panas yang juga mempengaruhi abrasi, karena dalam kajian material disebutkan bahwa kekerasan material akan berkurang seiring meningkatnya temperatur (Hasry dan Kaelani, 2014).

2.11 *Thermal Cycle*

Pengaruh dari siklus termal (*thermal cycling*) pada sebuah material tidak boleh diremehkan karena sangat penting dalam desain dan teknik manufakturnya. Ketika material diberi perlakuan dengan gradien temperatur cenderung meluas berbeda-beda selama tegangan termal diinduksi. Sumber panas yang menyebabkan adanya gradien termal dapat disebabkan oleh adanya gesekan seperti dalam kasus rem. Proses *thermal cycling* yang melibatkan pemanasan dan pendinginan dari sebuah material hingga mengalami re-organisasi molekular yang mengencangkan atau mengoptimalkan struktur partikulat dari keseluruhan material, menghilangkan tegangan dan membuat lebih padat dan seragam sehingga meminimalkan kekurangan atau ketidaksempurnaan. (Agbadua dan Mgbemena, 2011).

2.12 **Diagram Ellingham-Richardson**

R-E diagram adalah metode paling sederhana yang mewakili energi bebas vs temperatur untuk senyawa seperti oksida dan sulfida. Dalam diagram ini, oksida yang sangat stabil ditemukan di bawah dan kurang stabil menempati posisi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, kehadiran elemen pada posisi yang lebih rendah akan selalu mengurangi oksida logam lain yang berada di atasnya, ketika semua reaktan dan produk berada pada standar mereka.



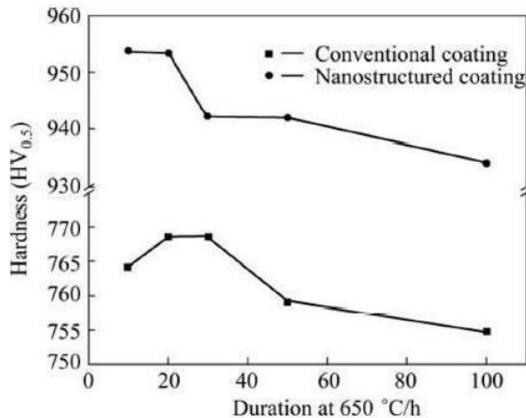
Gambar 2.9 Diagram Ellingham
(Mishra, dkk., 2002)

2.13 Penelitian Sebelumnya

1. Menurut Senthilkumar, V dan Thiyagarajan, B. (2015) yang meneliti tentang “*Effect of Thermal Cycle on Ni–Cr Based Nanostructured Thermal Spray Coating in Boiler Tubes*”. Proses pelapisan dilakukan pada substrat karbon steel dengan nanostruktur Ni-Cr powder menggunakan proses HVOF. Hasil Penelitian ini menyimpulkan bahwa

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pengukuran kekerasan setelah dilakukan *thermal cycle* menunjukkan nilai kekerasan yang meningkat dan lebih stabil pada *microhardness*.



Gambar 2. 10 Pengaruh Thermal Cycle Terhadap Microhardness (Senthilkumar, et al. 2015)

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa *thermal cycle* memengaruhi nilai kekerasan *microhardness*. Semakin lama durasi *thermal cycle* maka nilai kekerasan mikrohardness semakin menurun namun cenderung lebih stabil.

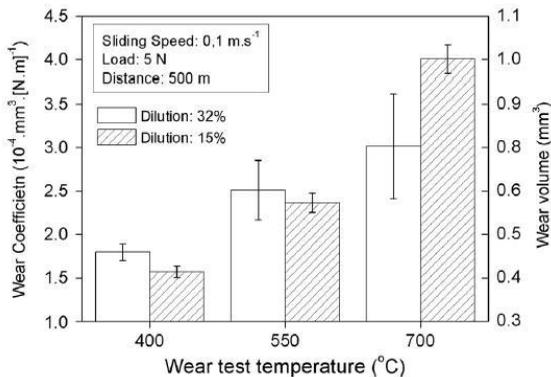
- Menurut Silva, dkk. (2016) yang meneliti tentang “*NiCrSiB Coatings: Effect of Dilution on Microstructure and High Temperature Tribological Behavior*”. Proses pelapisan dilakukan pada substrat SS304 dengan powder NiCrSiB menggunakan *plasma transferred arc* (PTA). Hasil ini menyimpulkan bahwa mekanisme keausan (erosi) bergantung pada dilusi dari lapisan coating, dilusi yang kecil menunjukkan pengaruhnya terhadap ketahanan adhesi dan abrasi.



Tabel 2. 3 Semi-kuantitatif Analisis Kimia-XRF (wt%) Untuk Ni, Cr, Fe, dan Si (Silva, dkk., 2016)

	Ni (%)	Cr (%)	Fe (%)	Si (%)
Substrate AISI 304	8.0	18.9	72.6	0.5
Atomized NiCrSiB alloy	81.0	13.2	4.4	1.4
Single layer coating	54.6	15.9	26.5	3.0
Double layer coating	65.0	17.1	14.7	3.2

Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia dari Ni, Cr, Fe, dan Si yang ada pada material yang telah dilakukan proses pelapisan dengan *single layer* dan *double layer*. Interaksi Antara paduan Ni dengan substrat pada daerah *weld pool* berdampak pada komposisi kimia dari lapisan. Pada rasio Fe, *single layer* menunjukkan dilusi yang lebih besar dibandingkan dengan *double layer*. Sedangkan rasio unsur lain seperti Ni, Cr, dan Si pada *single layer* menunjukkan dilusi yang lebih kecil dibandingkan dengan *double layer*.



Gambar 2. 11 Koefisien Keausan Dengan Perbedaan Temperatur (Silva and C.M.D'Oliveira, 2016)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Performa keausan menurun seiring naiknya temperature sebagaimana terbentuknya tribolayer seperti pada Gambar 2.5. Kemunculan kontradiksi ini dapat dipahami dengan melibatkan body dan counter body pada disetiap pengaturan. Kedua body dan cunter body mengoksidasi, membentuk formasi tribo layer meskipun dalam temperature rendah.

- Menurut Miguel, dkk., (2003) yang meneliti tentang “*Tribological Study of NiCrBSi Coating Obtained by Different Processes*”. Penelitian ini melakukan proses pelapisan pada mild steel dengan NiCrSiB menggunakan berbagai proses yaitu, plasma sprayed coatings, HVOF sprayed, dan sprayed & fused. Hasil ini menyimpulkan bahwa sprayed & fused coating memberikan ketahanan aus yang paling baik diatara ketiganya. Mekanisme keausan yang utama terletak pada adhesi. Tetapi abrasi dan delaminasi juga ikut terlibat.

Tabel 2. 4 Parameter Keausan dengan Perbedaan Proses (Miguel, et al., 2003)

	<i>Volume loss</i> (mm ³)	<i>Depth wear track</i> (µm)
NiCrSiB 0.480 18.6 <i>plasma sprayed</i>		
NiCrSiB 0.053		2.0
HVOF sprayed		
Spray&fused 0.035		1.05
NiCrSiB		

Tabel 2.4 adalah hasil dari parameter keausan yang telah dikalkulasi menggunakan SWLI. Nilai tersebut mengindikasi bahwa proses fuse memberikan ketahanan

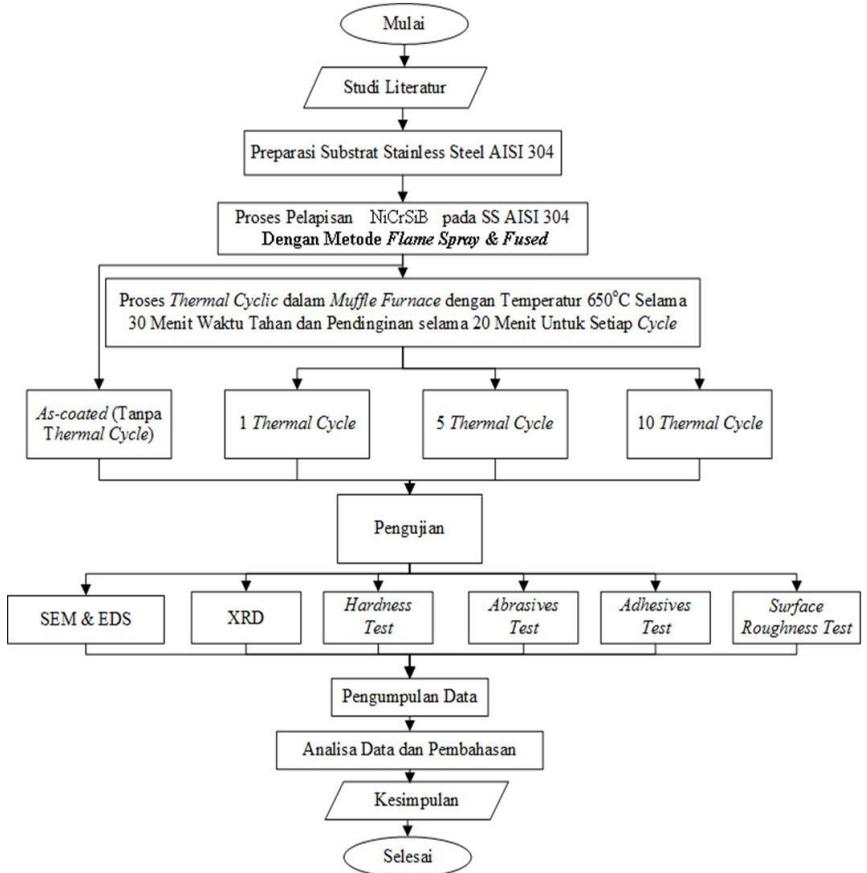


terhadap sliding wear. Proses plasma sprayed menunjukkan parameter keausan yang paling besar dimana volume yang hilang paling banyak di antara ketiga proses lainnya.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian dalam penelitian ini yaitu:

3.2.1 Stainless steel SS-304

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Material SS-304
 (PT. SUTINDO RAYA MULIA, 2016)

<i>Elemen</i>	<i>Kadar</i>
Carbon	0.01
Mangan	1.53
Phospor	0.027
Sulfur	0.001
Silicon	0.41
Chromium	18.2
Nickel	8.1

Tabel 3. 2 Propertis Fisik SS-304
 (PT. ACERINOX, 2013)

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Density</i>	7.9 kg/l (20°C)
<i>Spescific Heat</i>	500 J/kg,k
<i>Modulus of Elasticity</i>	180 GPa
<i>Thermal Expansion</i>	(16-18) 10 ⁻⁶ x K ⁻¹ (100-500°C)
<i>Thermal Conductivity</i>	(15-22) W/m.K (20-500°C)



3.2.2 Colmonoy 6 (NiCrSiB)

Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Colmonoy 6 (NiCrSiB)
(Wallcolmonoy, 2014)

<i>Elemen</i>	<i>Kadar</i>
Boron	3.0
Carbon	0.6
Chromium	14.0
Ferrum	4.0
Silicon	4.2
Nickel	<i>Balance</i>

Tabel 3. 4 Propertis Fisik Powder Colmonoy 6
(Wallcolmonoy, 2014)

<i>Properties</i>	<i>Nilai</i>
<i>Density</i>	0.281 lb/cu in 7.778 g/cc
<i>Specific Gravity</i>	7.8
<i>Melting Point</i>	1900°F / 1040°C
<i>Specific Heat</i>	0.190 Btu/lb/°F (77-212°F) 795.5 kJ/kg/°C (25-100°C)
<i>Thermal Coef. Of Expansion</i>	8.14 x 10 ⁻⁶ in/in/°F (122- 1202°F) 8.14 x 10 ⁻⁶ cm/cm/°C (50- 650°C)
<i>Thermal Conductivity</i>	104 Btu/ft2/hr/in/°F
<i>Coefficient of Friction (6 – micro surface finish)</i>	0.10
<i>Magnetic Permeability</i>	1.005 N/A ²
<i>Modulus of Elasticity (Tension or Compression)</i>	32 x 10 ⁶ psi
<i>Microhardness</i>	640-810 HV



3.3 Alat Penelitian

Alat– alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

3.3.1 Mesin Gergaji Pita

Mesin ini digunakan untuk memotong *stainless steel* 304 menjadi beberapa bagian sesuai ukuran yang diinginkan.



Gambar 3. 2 Mesin Gergaji Pita

3.3.2 Alat *Flame Spray & Fused*

Digunakan untuk meleburkan powder NiCrSiB dan menyemburkannya ke substrat AISI 304 Baja Tahan Karat Austenitik



Gambar 3.3 Alat Flame Spray



3.3.3 Jangka Sorong Digital

Digunakan untuk mengukur ketebalan *coating* saat *coating* sudah kering.



Gambar 3. 4 Jangka Sorong Digital

3.3.4 Alat Uji Kekasaran Permukaan

Alat ini berfungsi untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan material sampel yang telah *dicoating*.



Gambar 3. 5 Surface Roughness Tester

3.3.5 Alat Sandblast

Untuk membuat profil (kekasaran) pada permukaan spesimen dan membersihkan permukaan spesimen SS-304



terhadap kontaminan seperti minyak, *scale*, dan karat hingga mencapai standar SA 3.



Gambar 3. 6 Alat Sandblast

3.3.6 Alat Uji *Pull-Off*

Alat ini digunakan untuk menguji daya lekat antara material *coating* dengan permukaan substrat. Alat ini bernama *PosiTest AT-M Adhesion Tester*.



Gambar 3. 7 Alat Uji Pull-Off

3.3.7 Alat Uji Laju Keausan

Digunakan untuk mengetahui nilai laju keausan spesimen.



Gambar 3. 8 Alat Uji Keausan

3.3.8 Alat Uji Mikrohardness Vickers

Digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen.



Gambar 3. 9 *Vickers Microhardness Test*

3.3.9 Alat SEM

Digunakan untuk menganalisa morfologi permukaan yang telah dilapisi material *coating*.



Gambar 3. 10 *Scanning Electron Microscope*

3.3.10 Alat XRD

Digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk pada permukaan lapisan *coating*.



Gambar 3. 11 Alat XRD

3.3.11 Muffle Furnace

Muffle furnace digunakan untuk melakukan thermal cycle (pemanasan dan pendinginan). Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut:



: 48 cm

: 85 cm

: 64 cm



Gambar 3.12 Muffle Furnace

3.4 Metode Penelitian

Guna mendapatkan hasil yang diharapkan maka dalam penelitian ini dilakukan tahap-tahap percobaan sebagai berikut:

3.4.1 Preparasi Spesimen AISI 304 Baja Tahan Karat Austenitik

1. Preparasi spesimen diawali dengan memotong specimen:
 - 150mm x 50mm x 3.0mm sebanyak 4 spesimen.
 - 30 mm x 30mm x 3.0mm sebanyak 12 spesimen.
 - 10mm x 10mm x 3.0mm sebanyak 8 spesimen
2. Material dibersihkan dan dikasarkan dengan metode *sandblasting* hingga mencapai standar SA 3 dengan tipe *abrasive material*nya berupa pasir *aluminium oxide*. Tujuan dilakukannya sandblasting adalah untuk membentuk profil permukaan substrat menjadi kasar, agar material *coating* dapat menempel secara mekanik pada substrat. Persiapan



permukaan *sandblasting* ini dilakukan berdasarkan standar ISO 8501-1.

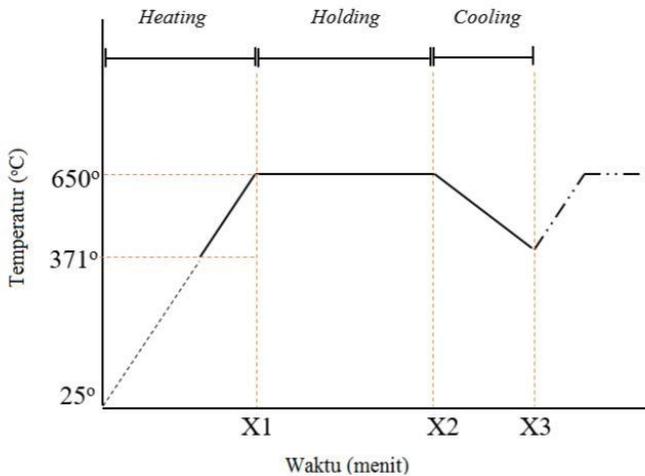
3.4.2 Proses Pelapisan

1. Melakukan proses *abrasive grit blasting* menggunakan volcanic sand 16 mesh dengan tekanan sebesar 7 bar dan jarak nozzle 100 mm. Hal ini bertujuan agar permukaan spesimen menjadi kasar serta untuk meningkatkan ikatan mekanik antara material substrat dengan pelapisnya.
2. Melakukan spraying NiCrSiB powder dengan parameter sebagai berikut:
 1. Ukuran mesh : 140-500 Mesh
 2. Tekanan oksigen : 1.7 Bar
 3. Tekanan asetilin : 1 Bar
 4. Jarak *nozzle* : 200 mm
 5. Temperatur *pre-heat* : 315°C
 6. Waktu *spray* : 5 menit

Parameter diatas merupakan parameter yang baik untuk menghasilkan lapisan coating menggunakan proses *flame spray & fused*. *Pre-heat* dilakukan untuk meningkatkan ikatan mekanik dari material coating pada saat proses spraying.

3.4.3 Proses Thermal Cycle

Proses *thermal cycle* dilakukan pada temperatur operasional boiler yaitu 650°C menggunakan *muffle furnace*. Proses *thermal cycle* dilakukan dengan memanaskan substrat yang telah dilapisi pada temperatur 650°C selama 30 menit dan didinginkan pada temperatur kamar selama 25 menit untuk proses 1 cycle. Proses ini dilakukan dengan variasi jumlah thermal cycle yang akan diterapkan. Variasi jumlah *thermal cycle* adalah 1 cycle, 5 cycle, dan 10 cycle.



Gambar 3.13 Kurva Perlakuan *Thermal Cycle*

Keterangan:

$X2 - X1 = 30$ Menit

$X3 - X2 = 20$ Menit

3.5 Pengujian

Pada tahapan ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Kemudian dilakukan analisis dari data yang sudah didapat untuk memperoleh karakteristik dari masing-masing spesimen. Pengujian yang dimaksud antara lain:

3.5.1 *Surface Roughness Test*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sampel yang telah di *coating*. Pengujian ini menggunakan 4 sample dengan ukuran 3 cm x 3 cm. Pengujian ini menggunakan alat uji *surface roughness tester* SJ-301 user's manual Mitutoyu dengan standard JIS20 (dalam satuan mikro meter).



Mekanisme kerja *surface roughness tester* ini menggunakan *stylus traces* pada permukaan spesimen. *Stylus traces* ini berfungsi untuk mengukur kekasaran permukaan benda yang disentuh, *stylus trace* akan melakukan pengukuran sepanjang permukaan benda uji. Hasil yang didapat akan berupa angka secara kuantitatif yang menunjukkan kekasaran permukaan spesimen.

3.5.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan mesin merek FEI Inspect S-50. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dari penampang substrat SS 304 setelah mengalami proses *abrasive grit blasting*, dan kemudian dilapisi *top coat*.

Mekanisme pengamatan SEM:

1. Menyiapkan sampel yang akan diamati, yaitu 8 sampel setelah proses pelapisan.
2. Meratakan permukaan *cross section* yang akan diamati SEM dengan menggunakan kertas amplas.
3. Merekatkan sampel yang akan diuji dengan menggunakan selotip karbon pada tempat sampel, hal ini dilakukan agar ketika pengamatan sampel tidak akan tergelincir saat proses *vacuum*.
4. Memasukkan sampel ke dalam alat pengujian SEM.
5. Melakukan proses *vacuum*.
6. Mengamati hasil gambar dari sampel dengan mencari lokasi dan ukuran yang diinginkan.
7. Mengambil gambar yang diinginkan setelah ditemukan yang sesuai.

3.5.3 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk substrat dan hasil *coating*. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak intensitas terhadap 2θ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi unsur dan senyawa.



Mekanisme Pengamatan XRD:

1. X-Ray (sinar X) di tembakkan dari X-Ray source ke sampel.
2. Hasil dari tembakan akan dipantulkan menuju X-Ray detector untuk dikonversikan dalam bentuk kurva agar dapat dianalisis.

3.5.4 Pengujian Pull Off Bonding

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat coating terhadap substratnya. Pengujian ini menggunakan lem Araldite yang berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji. Pengujian akan berhenti ketika lem sudah terlepas dari specimen, dengan menarik sebagian permukaan coating. Pull-off Bonding ini dilakukan dengan menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester dengan standar ASTM D-4541. Nilai dari kelekatan akan ditunjukkan dari alat dalam satuan MPa.

Mekanisme pengujian pull off bonding:

1. Pin atau holder dipusatkan pada permukaan coating dengan bagian pembebanan.
2. Putar roda pegangan searah jarum jam kemudian grip diturunkan sehingga grip berada dibawah bagian pembebanan.
3. Sejajarkan ketiga alas pemutar dari tripod sehingga alat tersebut akan menarik permukaan coating secara tegak lurus pada cincin bearing.
4. Merubah indikator gaya pada tester ke posisi nol.
5. Beban tarik yang diberikan pada bagian pembebanan ditambahkan hingga maksimum atau hingga sistem tersebut putus. Skala peralatan menunjukkan tegangan langsung dalam satuan MPa.
6. Mencatat nilai tertinggi yang didapatkan dengan membaca angka sepanjang indikator penarikan.



3.5.5 Pengujian *Microhardness Vickers*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada lapisan *coating* dengan kondisi sebelum dan setelah perlakuan *thermal cycle*. Berikut prosedur pengujiannya :

1. Meletakkan sampel (material) pada landasan yang telah tersedia.
2. Mikroskop difokuskan melalui pengatur kasar.
3. Area peninjauan pada sampel ditentukan dengan memutar spindel mikrometer.
4. Memberi beban sebesar 500 gf terhadap permukaan sampel selama 30 detik.
5. Mengukur diameter jejak arah horisontal (d_1) dan diameter jejak arah vertikal (d_2).

Nilai kekerasan secara otomatis muncul pada layar monitor.

3.5.6 Pengujian Abrasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan abrasi pada lapisan *coating* dengan kondisi sebelum dan setelah perlakuan *thermal cycle*. Berikut prosedur pengujiannya:

1. Memasang (*abrasive belt*) berupa aluminium oxide pada rotor yang ada.
2. Meletakkan sample (material) pada *holder* yang telah tersedia.
3. Memasang beban seberat 250 gram
4. Mengatur kecepatan putaran sebesar 200m/ menit.
5. Mengukur berat yang hilang (*weight loss*) setiap sampel

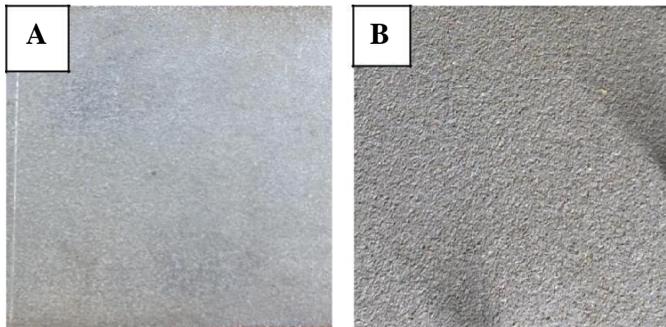


BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengamatan Visual

A. Hasil Sand Blasting

Sesuai dengan standard dan prosedur dalam aplikasi *thermal spray coating* harus dilakukan preparasi awal sebelum dilakukan proses *thermal spray* dengan cara blasting untuk mendapatkan tingkat kebersihan dan kekasaran permukaan yang sesuai dengan standard ISO 8501-1 tipe Sa 2.5 dimana kekasaran yang dibutuhkan adalah berkisar Antara 64 – 80 μm (Chaithanya 2007).



Gambar 4. 1 Permukaan Stainless Steel Tipe 304
(a) Sebelum (b) Sesudah Abrasive Sand Blasting

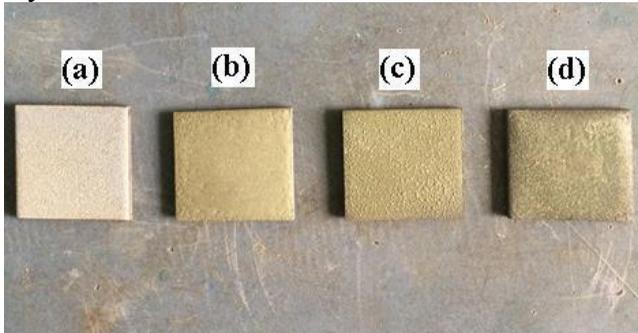
Gambar 4.1 menunjukkan hasil proses *abrasive sand blasting* memiliki warna abu-abu. Permukaan spesimen yang telah dilakukan *abrasive sand blasting* memiliki bentuk yang lebih kasar.

Hasil pengujian kekasaran permukaan dilakukan pada permukaan material substrat yaitu SS 304 sebelum dan sesudah proses *abrasive sand blasting* adalah 3,44 μm , sedangkan setelah dilakukan proses *abrasive grit blasting* adalah 76 μm . Hal ini menunjukkan bahwa setelah melakukan *abrasive sand blasting*



nilai kekasaran dari permukaan substrat meningkat. Semakin kasar permukaan mengakibatkan ikatan *mechanical interlocking* yang terbentuk semakin meningkat (Pawlowski 2008).

B. Hasil Proses *Flame Spray & Fused* dan Setelah *Thermal Cycle*



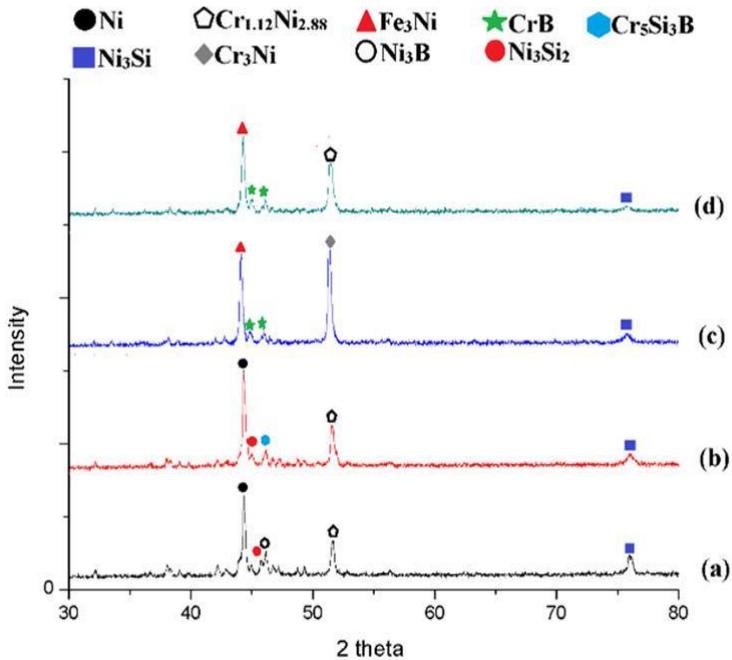
Gambar 4. 2 Pengamatan visual permukaan coating

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat 4 jenis sampel *stainless steel* yang permukaan substratnya telah tertutup oleh lapisan *coating* NiCrSiB. Keempat jenis sampel tersebut memiliki perbedaan warna pada tampak permukaannya. Sampel a, merupakan sampel *stainless steel* yang telah dilakukan *coating* namun tidak dilakukan proses *thermal cycling* (*as-received*). Sedangkan pada sampel b, c, dan d merupakan sampel berupa *stainless steel* yang telah dilakukan *coating* dan juga dilakukan *thermal cycling*, masing-masing sebanyak 1, 5, dan 10 cycle. Pada sampel a terlihat memiliki warna putih ke abu-abu dan cukup terang, seiring dengan dilakukannya *treatment* berupa, *thermal cycling* warna dari ketiga sampel b, c, dan d sedikit adanya perubahan warna menjadi hijau muda. Sampel b memiliki warna hijau muda yang paling terang, sedangkan sampel c dan d menunjukkan perubahan warna sedikit lebih gelap. Adanya perubahan warna diindikasikan adanya perubahan fasa yang terjadi pada sampel sebelum dan setelah dilakukan *thermal cycle*.



4.2 Hasil Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Uji senyawa dilakukan untuk mengetahui unsur dan senyawa apa saja yang terkandung pada sampel yang diujikan menggunakan XRD (X-Ray Diffraction). Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan 2θ .



Gambar 4. 3 Hasil XRD sampel *coating* NiCrSiB (a) *as-received* (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian XRD terhadap sampel *as-received coating* dan *coating* dengan *thermal cycle* sejumlah 1, 5, dan 10. Pada sampel *as-received coating* menunjukkan pola XRD dimana adanya fasa larutan padat Ni



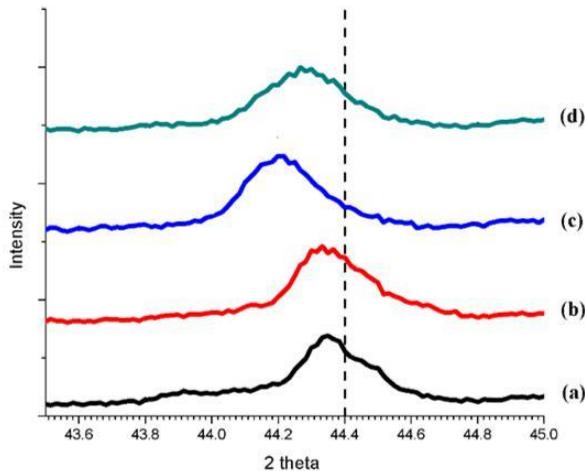
dengan intensitas tertinggi dengan sudut 2θ sebesar 44.35° , fasa intermetalik $\text{Cr}_{1.12}\text{Ni}_{2.88}$ dengan sudut 2θ sebesar 51.58° , fasa Intermetalik Ni_3Si dan Ni_3Si_2 dengan masing – masing sudut 2θ sebesar 75.94° dan 45.76° dimana fasa Ni_3Si akan terbentuk pada paduan dengan adanya kandungan Si yang lebih dari 6%, dan juga bergantung pada konten Cr dimana terdapat kelarutan minimum Si dalam paduan Ni di 8% Cr (Kim, et al. 2003). Pada puncak terakhir pada sampel ini menunjukkan adanya fasa intermetalik yang terbentuk yaitu Ni_3B dengan sudut 2θ sebesar 46.13° .

Pada Gambar 4.3 (b) menunjukkan hasil grafik XRD untuk sampel dengan satu kali *thermal cycle* dimana tidak ada perubahan fasa pada puncak tertinggi, fasa yang terbentuk tetap sama yaitu larutan padat Ni namun adanya fasa baru yang berubah pada sudut 2θ sebesar 46.09° yaitu fasa $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{B}$. Pada sampel ini juga teridentifikasi adanya fasa baru Fe_3Ni dengan sudut 2θ sebesar 75.99° dengan intensitas yang cukup kecil, terbentuknya fasa ini dikarenakan adanya proses difusi Fe dari substrat ke lapisan coating sehingga kadar unsur Fe mencukupi untuk berikatan dengan Ni menjadi Fe_3Ni .

Pada Gambar 4.3 (c) menunjukkan hasil grafik XRD untuk Sampel dengan lima kali *thermal cycle* dimana pada sampel ini adanya perubahan fasa yang terjadi yaitu fasa larutan padat Ni menjadi fasa intermetalik Fe_3Ni dengan sudut 2θ sebesar 44.22° . Terdapat fasa baru yang teridentifikasi yaitu Cr_3Ni dengan sudut 2θ sebesar 51.40° dan fasa keras CrB dengan sudut 2θ sebesar 44.90° dan 44.09° dimana CrB merupakan fasa yang sangat keras terbentuk pada kondisi kadar karbon ($\text{B} > 2 \text{ wt}\%$). (Kim, et al. 2003)

Pada Gambar 4.3 (d) menunjukkan hasil XRD untuk sampel dengan perlakuan sepuluh kali *thermal cycle* dimana fasa yang teridentifikasi hampir sama dengan sampel dengan lima kali *thermal cycle* hanya saja terdapat perbedaan fasa pada sudut 2θ 51.43° dimana teridentifikasi adanya fasa intermetalik $\text{Cr}_{1.12}\text{Ni}_{2.88}$.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. 4 Pola Perubahan 2θ hasil uji XRD (a) *As-received* (b) *1 Thermal Cycle* (c) *5 Thermal Cycle* (d) *10 Thermal Cycle*

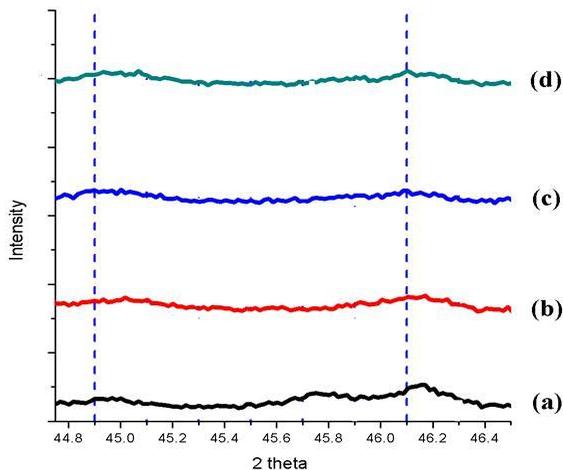
Tabel 4. 1 Data Posisi Peak (2θ)

Keterangan	As	1 cycle	5 cycle	10 cycle
	Received			
2θ	44.35	44.29	44.22	44.29

Gambar 4.4 merupakan perbandingan hasil pengujian XRD pada peak pertama untuk specimen *as-received coating*, perlakuan *1 thermal cycle*, *5 thermal cycle*, dan *10 thermal cycle*. Berdasarkan tabel 4.1 terdapat pergeseran posisi (2θ) pada puncak tertinggi hasil XRD sebelum dilakukannya *thermal cycle* dan sesudah dilakukan *thermal cycle* sejumlah 1, 5 dan 10. Posisi puncak Gambar 4.4 (a) *as-received coating* diketahui berada pada 44.35 dimana terjadi perubahan posisi menjadi 44.29, 44,22 dan 44.29 setelah dilakukan *1 cycle*, *5 cycle*, dan *10 cycle*. Berdasarkan Gambar 4.4 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa pola grafik pada sampel *as-received* dan *1 cycle* terjadi sedikit



perubahan dimana hanya terjadi 1 perubahan fasa pada keduanya. Fasa yang teridentifikasi untuk sampel *as-received* dan 1 cycle pada *peak* pertama yaitu Ni, Cr_{1.12}Ni_{2.88}, Ni₃Si dan Ni, Cr_{1.12}Ni_{2.88}, Fe₃Ni. Perubahan tersebut terletak pada senyawa paduan Fe₃Ni yang tidak ada pada sampel *as-received* coating. Perubahan yang signifikan terjadi pada sampel 5 cycle pada Gambar 4.4 (c), dibuktikan dengan Tabel 4.1 bahwa perubahan posisi (2 theta) pada 5 cycle sebesar 0.07 dari sebelumnya. Senyawa yang teridentifikasi pada *peak* pertama dan kedua yaitu Fe₃Ni, Cr₃Ni, dan Ni₃Si, adanya perubahan 2 senyawa yang sebelumnya tidak teridentifikasi pada sampel 1 cycle. Hal ini terjadi karena proses *thermal cycle* yang lebih lama dari sebelumnya. Pola grafik pada Gambar 4.4 (d) untuk sampel 10 cycle cukup berbeda dari sebelumnya namun cenderung sama dengan sampel 1 cycle, hal ini ditandai dengan perubahan senyawa yang terjadi pada sampel 10 cycle. Senyawa paduan yang teridentifikasi pada sampel 10 cycle yaitu Fe₃Ni, Cr_{1.12}Ni_{2.88}, dan Ni₃Si.



Gambar 4. 5 Pola Perubahan 2θ hasil uji XRD *Peak* Terendah (a) *As-received* (b) 1 *Thermal Cycle* (c) 5 *Thermal Cycle* (d) 10 *Thermal Cycle*

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4. 2 Data Posisi Peak Terkecil (2 Theta)

Keterangan	As	1 Cycle	5 Cycle	10 Cycle
	received			
2 theta	45.76	45.05	44.90	44.92
	46.13	46.14	46.09	46.11

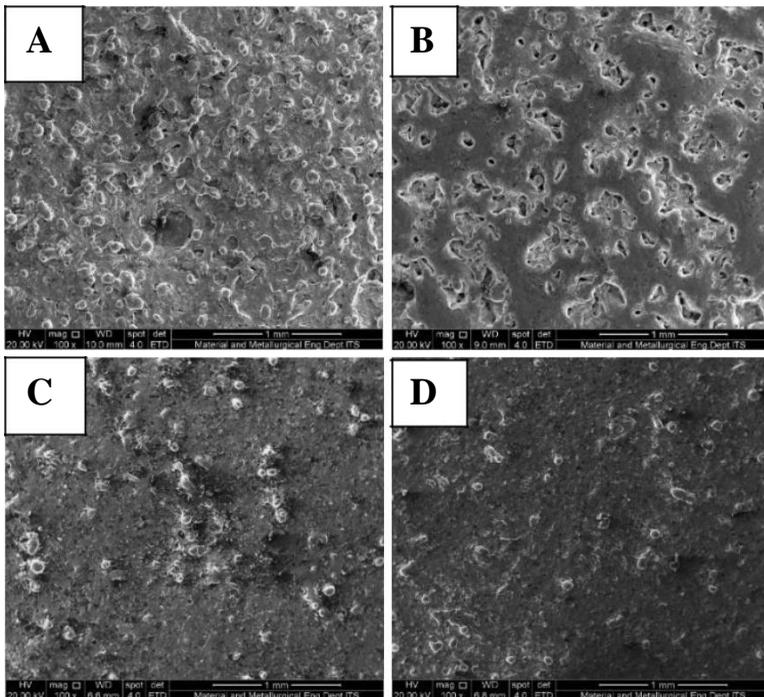
Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan hasil pengujian XRD pada peak pertama untuk specimen *as-received coating*, perlakuan 1 *thermal cycle*, 5 *thermal cycle*, dan 10 *thermal cycle*. Berdasarkan tabel 4.2 terdapat pergeseran posisi (2 theta) pada puncak terendah hasil XRD sebelum dilakukannya *thermal cycle* dan sesudah dilakukan *thermal cycle* sejumlah 1, 5 dan 10. Terlihat adanya pergeseran posisi 2 theta yang cukup signifikan ke kiri dari peak terendah hasil XRD dengan posisi mula – mula *as-received coating* 45.76° yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5 (a) dan mengalami pergeseran pada cycle ke-1 Gambar 4.5 (b) menjadi 45.05° ; pada Gambar 4.5 (c) juga menunjukkan pergeseran yang terjadi pada cycle ke-5 menjadi 44.90° dan pada Gambar 4.5 (d) dimana tidak terjadi adanya pergeseran yang cukup signifikan dari posisi sebelumnya yaitu pada cycle ke-10. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan adanya perubahan fasa yang terjadi pada cycle ke-1 dan cycle ke-5 dimana pada sampel *as-received coating* teridentifikasi fasa Ni_3B yang tidak teridentifikasi pada cycle ke-1 dimana pada cycle tersebut diidentifikasi fasa $\text{Cr}_5\text{Si}_3\text{B}$ dan mengalami perubahan pada cycle ke-5 dimana teridentifikasi fasa CrB yang juga teridentifikasi pada cycle ke-10. Pada peak terendah lainnya juga mengalami adanya pergeseran posisi 2 theta namun tidak cukup signifikan seperti pada peak pertama.



4.3 Hasil Pengujian SEM/EDS (*Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersion Spectroscopy*)

A. Morfologi Permukaan Hasil *Coating*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan material *coating* NiCrSiB menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran 100x. Permukaan material *coating* yang diamati terdiri dari empat sampel dengan variasi tanpa *thermal cycle* (*as-received*), 1 *thermal cycle*, 5 *thermal cycle*, dan 10 *thermal cycle*, yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 6 Permukaan Spesimen *Coating* Perbesaran 100x (a) *as-received* (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle



Gambar 4.6 menunjukkan hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 100x pada permukaan hasil *coating* yang digunakan untuk mengetahui kekasaran pada masing-masing permukaan *coating* dengan variasi sampel tanpa *thermal cycle* (*as-received*), 1 *thermal cycle*, 5 *thermal cycle*, dan 10 *thermal cycle*.

Gambar 4.6 (a) merupakan sampel tanpa *thermal cycle* (*as-received*) *coating*. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa morfologi permukaan pada sampel ini sangat kasar yang ditunjukkan dengan adanya partikel-partikel solid yang tersebar tidak merata (*course grain*) akibat dari proses *powder flame spray* yang tidak melebur (*unmelt*) dengan sempurna.

Gambar 4.6 (b) menunjukkan morfologi permukaan *coating* setelah dilakukan satu kali *thermal cycle*. Berdasarkan gambar tersebut morfologi permukaan dari sampel ini terlihat adanya sedikit perubahan yang lebih baik dimana partikel-partikel solid yang terdapat pada permukaan sudah melebur sebagian (*semi-melt*), namun sebagian lainnya masih terlihat kasar. Perlakuan 1 *thermal cycle* menyebabkan distribusi partikel-partikel solid mengalami sedikit peleburan (*semi melt*). Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekasaran permukaan *coating* pada sampel ini menurun.

Gambar 4.6 (c) menunjukkan kondisi permukaan *coating* yang lebih baik dari gambar sebelumnya. Sampel ini memiliki mikrostruktur yang lebih homogen. Terlihat sebagian partikel-partikel solid sudah melebur dengan baik dan membentuk ikatan antar partikelnya. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekasaran permukaan pada sampel ini menurun.

Gambar 4.5 (d) menunjukkan morfologi permukaan *coating* yang sangat baik dan sangat homogen dimana partikel-partikel solid sudah melebur dan terdistribusi merata (*fine grain*) di seluruh permukaan. Perlakuan sepuluh *thermal cycle* menghasilkan partikel-partikel solid yang sebelumnya terlihat kasar menjadi lebih halus dan merata, namun pada sampel ini juga terdapat partikel-partikel solid yang tidak melebur dimana



partikel tersebut diidentifikasi merupakan senyawa oksida krom yang yang dapat dilihat berwarna putih.

Dengan demikian, semakin banyaknya jumlah *thermal cycle* menghasilkan permukaan yang lebih rata dan halus. Hal ini disebabkan karena partikel-partikel yang melebur dan berdifusi kedalam lapisan.

B. Hasil Analisis SEM/EDS

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang ada dari morfologi permukaan hasil *coating* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energy Dispersion Spectrometry* (EDS). Hasil dari pengujian ini berupa jumlah persentase unsur yang ada di morfologi permukaan *coating*. Berdasarkan Gambar 4.6 didapatkan hasil EDS komposisi unsur yang ada pada luas area dengan perbesaran 100x yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Pengujian EDS di Berbagai Variabel

Unsur	<i>As-received</i> (% Massa)	1 <i>Cycle</i> (% Massa)	5 <i>Cycle</i> (% Massa)	10 <i>Cycle</i> (% Massa)
B	00.97	00.96	00.93	00.89
O	10.89	12.47	13.43	13.70
Si	06.69	08.48	07.75	06.66
Cr	21.42	18.90	19.20	24.71
Fe	04.30	04.46	06.90	08.64
Ni	44.08	45.41	43.22	36.78

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Hasil uji SEM/EDS, dapat diketahui unsur-unsur yang terbentuk pada *coating* adalah B, O, Si, Cr, Fe, dan Ni. Komposisi menunjukkan perbedaan disetiap sampel sebelum dan sesudah dilakukan *thermal cycle*.

Gambar 4.5 merupakan hasil pengujian SEM/EDS pada morfologi permukaan *coating* NiCrSiB dengan perbesaran 100x. Berdasarkan hasil uji tersebut dapat dilihat terjadi perubahan komposisi unsur yang ada pada setiap variasi sampel yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3 dimana hampir seluruh unsur yang terbentuk pada permukaan mengalami perubahan komposisi setelah dilakukan *thermal cycle*. Sebelum dilakukan *thermal cycle* (*as-received*) didapatkan unsur oksigen sebesar 10.89% dikarenakan pada proses penyemprotan sudah terjadi proses oksidasi. Pada sampel 1 cycle hingga 10 cycle terjadi peningkatan unsur oksigen masing-masing sebesar 12.47%, 13.43%, dan 13.70%. Hal ini dikarenakan terjadinya proses oksidasi selama *thermal cycle*, baik oksidasi yang terjadi didalam furnace maupun saat ketika dikeluarkan di udara bebas. Ni mengalami penurunan komposisi unsur setelah dilakukan *thermal cycle*, namun terjadi kenaikan komposisi unsur Fe dimana sebelum *thermal cycle* (*as-received*) komposisi unsur Ni (44.08%) sedangkan komposisi unsur Fe (04.30%). Pada sampel 1 cycle memiliki unsur Ni (45.41%) sedangkan unsur Fe (4.46%). Pada sampel 5 cycle memiliki unsur Ni (43.22%) sedangkan unsur Fe (6.90%). Pada sampel 10 cycle terus mengalami penurunan komposisi Ni (36.78%) sedangkan unsur Fe tetap mengalami kenaikan menjadi 8.64%.

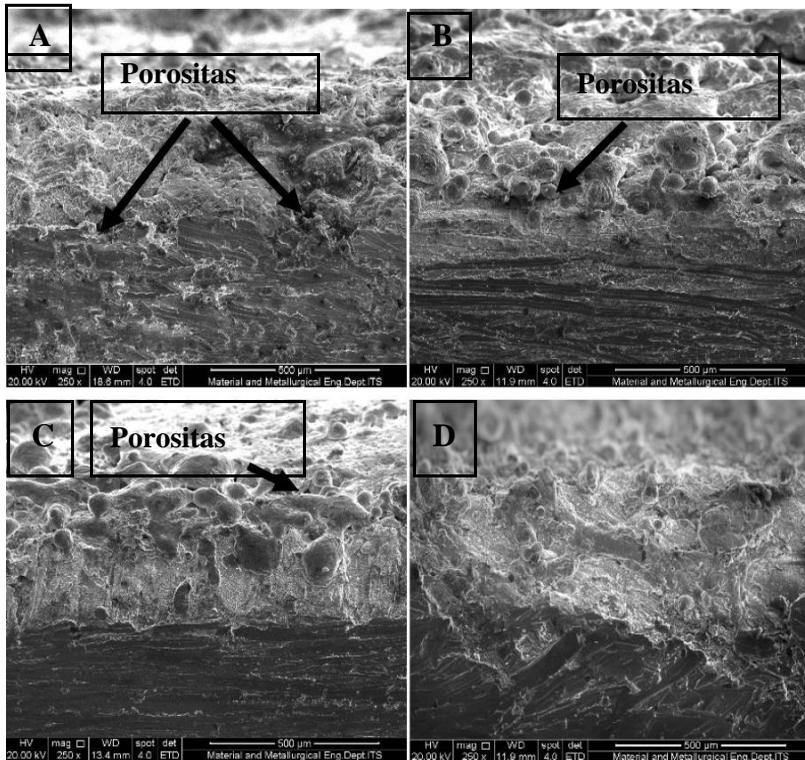
Penurunan komposisi unsur boron dan nikel seiring bertambahnya jumlah *cycle* dikarenakan terjadinya difusi unsur boron dan nikel dari permukaan *coating* kedalam lapisan maupun substrat. Sedangkan kenaikan komposisi unsur Fe terjadi akibat proses difusi unsur Fe yang berasal dari substrat keatas lapisan *coating*, dimana koefisien interdifusi besi-nikel pada temperature tertentu berkisar Antara 635°C sampai 1325 °C (Shepardson 2008).



C. Morfologi Penampang Melintang Hasil Coating

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

dilakukan untuk mengetahui morfologi penampang lintang (*cross section*) yang terbentuk diantara substrat dan lapisan *coating*. Selain itu juga untuk mengamati dan menganalisis porositas yang terbentuk pada bagian hasil *coating*. Kedua hasil tersebut terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 7 Bagian *Cross Section* Spesimen Coating Perbesaran 250x (a) *as-received* (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle



Pengamatan spesimen sebelum dan setelah mendapatkan perlakuan thermal cycle dari bagian penampang lintang (*cross section*) bertujuan untuk mengetahui distribusi partikel-partikel coating yang mengalami proses peleburan tahap lanjut sehingga mampu membentuk ikatan antar partikel yang lebih baik. Pengamatan tersebut menggunakan hasil pengujian SEM dengan perbesaran 250x.

Gambar 4.6 merupakan hasil pengujian SEM terhadap spesimen pada bagian penampang lintang (*cross section*) dengan kondisi (a) tanpa *thermal cycle* (*as-received*) (b) Setelah satu kali *thermal cycle* (c) 5 *thermal cycle* (d) 10 *thermal cycle*. Pada Gambar 4.6 (a) menunjukkan hasil bahwa partikel-partikel coating yang telah terdeposisi ke permukaan coating terlihat bentuknya kasar dan terdiri atas partikel-partikel yang belum sepenuhnya melebur (*unmelt*). Ikatan antar partikelnya yang kurang baik, sehingga terlihat bahwa permukaan lapisan coating mempunyai tingkat porositas yang cukup tinggi. Porositas tersebut dapat dilihat pada bagian interface Antara substrat dengan coating, Hal ini disebabkan pada saat proses *spraying* dilakukan di ruang terbuka, sehingga sangat memungkinkan oksida masuk ke dalam partikel-partikel coating tersebut. Dengan adanya oksida tersebut menyebabkan partikel coating tidak dapat melebur secara sempurna. Sehingga membentuk partikel-partikel bulat setelah mengalami solidifikasi

Gambar 4.6 (b) menunjukkan hasil yang berbeda dengan Gambar 4.6 (a). Perbedaannya yaitu partikel-partikel coating terlihat lebih halus dan membentuk ikatan antar partikel yang baik, sehingga kekasaran permukaan lapisan coating menurun. Hal ini dikarenakan partikel-partikel coating tersebut mengalami proses peleburan tahap lanjut akibat mengalami perlakuan *thermal cycle*. Pada bagian *interface* antara lapisan coating dan substrat masih terlihat adanya porositas namun intensitas dari poros tersebut sudah cukup berkurang dikarenakan adanya partikel-partikel coating yang *half melt* mengisi porositas yang ada pada daerah interface antara substrat dengan coating.



Gambar 4.6 (c) dan (d) merupakan sampel hasil dari perlakuan thermal cycle sebanyak lima dan sepuluh kali dimana pada sampel ini kondisi bagian cross section tampak pada kondisi paling baik diantara sampel sebelumnya.

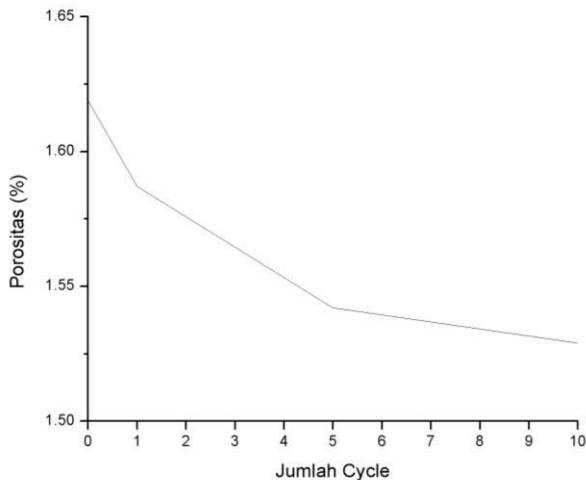
4.4 Hasil Analisis Porositas

A. Analisis Porositas Menggunakan Software Image J

Analisis mikrostruktur pada bagian *cross section* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan perbesaran 250x. Hal ini bertujuan untuk mengetahui porositas yang terbentuk sebelum mendapatkan perlakuan *thermal cycle*. Nilai persentase porositas dapat diketahui dengan menggunakan software image J. Hasil persentase porositas dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran Porositas Dengan Menggunakan Image Analysis Image J Untuk Keempat Variasi Sampel

Variabel (<i>Thermal Cycle</i>)	Porositas (%)
0	1.619
1	1.587
5	1.542
10	1.529



Gambar 4. 8 Grafik Besaran Persentase Porositas

Tabel 4.3 dan Gambar 4.7 menunjukkan hasil *coating* sampel sebelum (*as-received*) dan sesudah dilakukan *thermal cycle* sejumlah 1, 5, dan 10. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut didapatkan nilai persentase porositas pada sampel tanpa *thermal cycle* (*as-received*) sebesar 1.619%. Pada sampel sesudah dilakukan *thermal cycle* sejumlah satu kali didapatkan nilai persentase porositas sebesar 1.587%, pada sampel lima *thermal cycle* sebesar 1.542, dan pada sampel sepuluh kali *thermal cycle* didapatkan nilai porositas sebesar 1.542%.

Gambar 4.7 menunjukkan penurunan porositas seiring bertambahnya jumlah cycle dimana persentase porositas tertinggi dimiliki oleh sampel tanpa *thermal cycle* (*as-received*) dan persentase porositas terendah dimiliki oleh sampel dengan sepuluh *thermal cycle*. Hal ini dikarenakan adanya proses interaksi metalurgi berupa difusi seiring dengan bertambahnya jumlah cycle yang juga ditunjukkan oleh Tabel 4.3. Difusi terjadi dikarenakan adanya transportasi partikel dari konsentrasi yang



tinggi dan mengisi kekosongan (*vacancies*) pada temperature tinggi (Pawlowski 2008).

B. Analisis Porositas Densitas

Analisis densitas dan porositas dilakukan untuk mengetahui densitas dan persentase porositas lapisan coating NiCrSiB sebelum dan setelah dilakukan thermal cycle dengan menggunakan prinsip *Archimedes*. Densitas merupakan pengukuran masa suatu benda per unit volume dengan satuan gram/cm³. Hasil persentase porositas ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Persentase Porositas Densitas

Variabel	Volume di		Selisih Volume (cm ³)	Porositas (%)
	Udara (cm ³)	Volume di Air (cm ³)		
As- received	0.7271	0.6165	0.1106	15.211
1	0.6464	0.542	0.1044	16.150
5	0.4983	0.432	0.0663	13.305
10	0.6027	0.528	0.0747	12.394

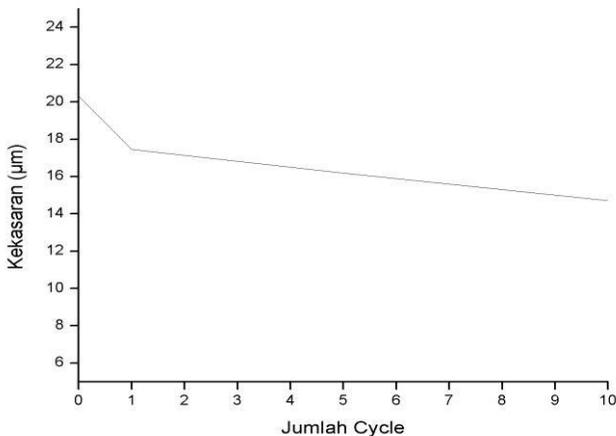
Tabel 4.5 menunjukkan hasil analisis porositas densitas menggunakan prinsip Archimedes. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan nilai persentase porositas dari sampel sebelum dan setelah thermal cycle. Meningkatnya jumlah cycle menyebabkan penurunan porositas hingga 12.394% pada cycle ke-10. Peningkatan jumlah cycle hingga 10 kali cycle menyebabkan adanya proses difusi partikel yang mengisi kekosongan pada temperature tinggi.

4.5 Pengujian Kekasaran Permukaan Coating

Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian kekasaran permukaan coating pada setiap variabel.

**Tabel 4. 6** Hasil Pengujian Kekasaran

Variabel (Thermal Cycle)	Nilai Kekasaran (μm)
0	20.32
1	17.46
5	16.18
10	14.72

**Gambar 4. 9** Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Kekasaran

Gambar 4.9 menunjukkan penurunan kekasaran permukaan pada hasil *coating* seiring bertambahnya jumlah thermal cycle. Pada sampel tanpa thermal cycle (as-received) memiliki nilai kekasaran sebesar $20.32 \mu\text{m}$ dan mengalami penurunan hingga $14.72 \mu\text{m}$ pada thermal cycle ke-10. Hal ini disebabkan oleh banyaknya partikel – partikel kasar (*course grain*) yang ada pada sampel tanpa *thermal cycle*. Seiring bertambahnya jumlah *cycle*, partikel – partikel tersebut mengalami *semi-melt* dan bertransformasi menjadi *medium grain* dan *fine grain*.



Meningkatnya kekasaran permukaan pada lapisan *coating* disebabkan oleh adanya beberapa partikel yang belum meleleh secara sempurna sehingga pada saat mencapai permukaan substrat bentuk partikelnya bulat. Bentuk partikel seperti inilah yang meningkatkan kekasaran permukaan hasil *coating* (Sarikaya, 2005).

4.5 Pengujian Adhesi



Gambar 4. 10 Tampak atas hasil *pull off strength* NiCrSiB coating

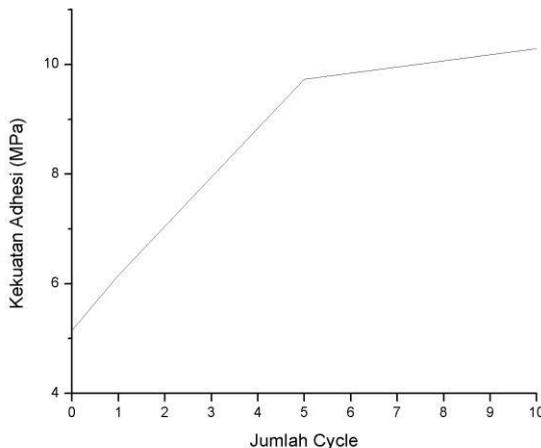
Tabel 4. 7 Hasil Uji Adhesi

Variabel (<i>Thermal Cycle</i>)	Nilai Adhesi (MPa)	Rata-Rata (MPa)
0	4.79	5.15
	6.14	
	4.52	
	4,61	
	6.48	
1	7.69	6.26
	11.01	
	8.29	
5	9.89	9.73
	7.68	
	11.19	
10	12	10.29

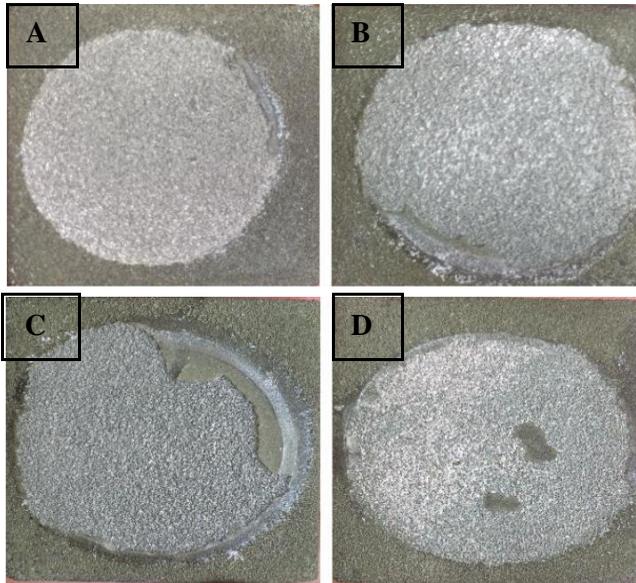
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian daya lekat coating NiCrSiB pada setiap sampel nilai kekuatan lekat coating diambil dari hasil rata-rata data ketiga titik hasil pengujian daya lekat coating.

Gambar 4.11 menunjukkan pengaruh jumlah *thermal cycle* terhadap kekuatan adhesi *coating*. Berdasarkan gambar tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan pertambahan jumlah *cycle* menaikkan kekuatan daya lekat (adhesi) *coating* terhadap substrat. Pengaruh *thermal cycle* menyebabkan kenaikan kekuatan daya lekat antara coating dengan substrat dan kohesi antar *coating* yang disebabkan adanya difusi Fe dari substrat ke *coating* dan Ni dari *coating* ke substrat (Sundararajana, et al. 2004). Hal ini ditunjukkan oleh hasil SEM/EDS pada Tabel 4.3 dimana unsur Fe yang mengalami peningkatan dan unsur Ni yang mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah *cycle*, dimana hal tersebut menunjukkan adanya difusifitas kedua unsur tersebut.



Gambar 4. 11 Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Kekuatan Adhesi



Gambar 4. 12 Gambar Hasil Pengujian Pull off Strength (a) as-received (b) 1 cycle (c) 5 cycle (d) 10 cycle

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian *pull off strength coating* NiCrSiB pada sampel *as-received* dan setelah *thermal cycle* 1, 5 dan 10. Gambar tersebut menunjukkan area penampang hasil pengujian *pull off strength* yang berhasil terangkat oleh pin. Berdasarkan luas area penampang pada keempat gambar (a) hingga (d), terlihat bahwa luas penampang yang terangkat oleh pin keempat sampel hampir sama hanya saja pada sampel 5 cycle dan 10 cycle masih ada lapisan *coating* yang menempel pada permukaan. Berdasarkan Gambar 4.12 lapisan *coating* mengalami kegagalan pada daerah antar *coating* (kohesi). Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan adhesi lapisan *coating* dengan substrat lebih besar dibandingkan dengan kekuatannya antar lapisan *coating* (kohesi), yang dikarenakan pada prosesnya terdapat porositas diantara lapisan *coating*.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

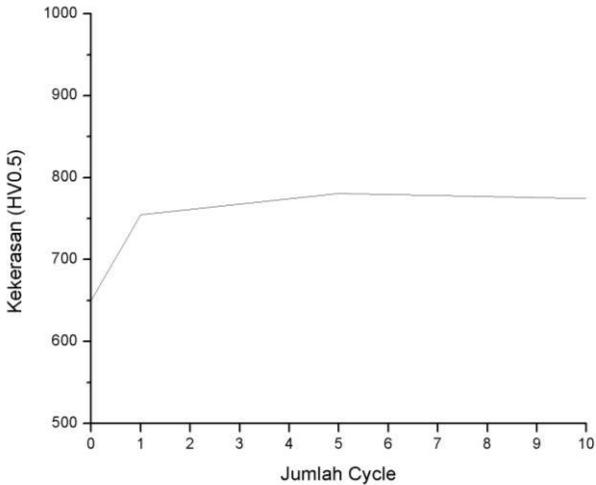


4.6 Pengujian Kekerasan

Tabel 4.8 memperlihatkan nilai kekerasan setiap sampel dengan variabel *thermal cycle* yang berbeda. Nilai tiga dari lima data yang berdekatan diambil dan dirata-ratakan. Pada sampel dengan variabel tanpa *thermal cycle* (*as-received*) didapatkan nilai kekerasan sebesar 649.83 HV; variabel dengan 1 *thermal cycle* memiliki nilai kekerasan sebesar 754.8 HV; sampel dengan variabel 5 *thermal cycle* memiliki nilai kekerasan sebesar 780.5 HV; dan sampel dengan variabel 10 *thermal cycle* memiliki nilai kekerasan sebesar 774.47 HV.

Tabel 4.8 Nilai Kekerasan Variabel

<i>(Thermal Cycle)</i>	Nilai Kekerasan (HV)	Rata-Rata (HV)
0	668.0	649.83
	647.7	
	633.8	
1	764.3	754.8
	764.1	
	736.1	
	794.6	
5	783.3	780.5
	763.6	
	781.3	
10	783.5	774.47
	758.6	



Gambar 4. 13 Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap Kekerasan Mikro

Berdasarkan Gambar 4.13 terlihat bahwa nilai kekerasan cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah *cycle*. Hal ini disebabkan oleh penurunan *tensile residual stress* pada lapisan *coating*, dimana dengan *residual stress* menurun maka lapisan *coating* mampu menahan baban sebesar *tensile residual stress* yang turun ditambah dengan beban yang mampu diterima lapisan *coating as-received*. Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa pada sampel tanpa thermal cycle (*as-received*) memiliki kekerasan mikro sebesar 649.83 Hv dimana mengalami peningkatan hingga 780.5 Hv pada cycle ke-5 dan adanya sedikit penurunan pada sampel ke-10 sebesar 774.47 Hv. Hal ini dikarenakan pada sampel lima dan sepuluh *themal cycle* terdapat *persipitate boride* (CrB) yang ditunjukkan oleh hasil XRD. Pada cycle ke-5 memiliki kekerasan tertinggi diantara jumlah cycle lainnya. Hal ini disebabkan intensitas fasa Cr₃Ni yang tinggi yang juga ditunjukkan oleh hasil pengujian XRD.



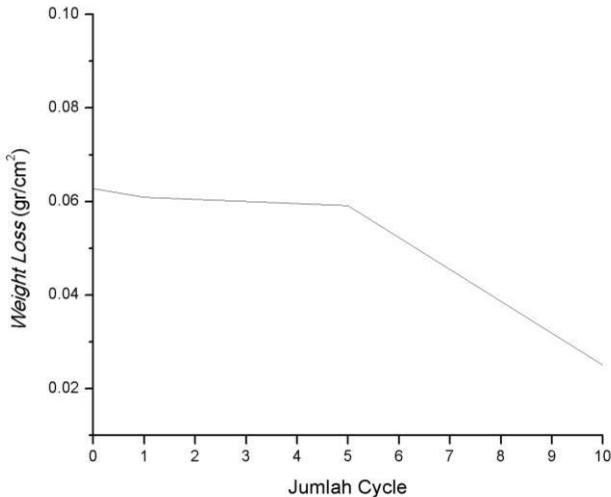
Nilai kekerasan dan kekerasan mikro lapisan coating juga ditentukan oleh dua hal yaitu tingkat porositas yang tinggi dan jumlah butir-butir yang belum melebur (*un-melted grains*) dimana dapat menurunkan kekerasan *coating* (Pawlowski 2008).

4.7 Pengujian Abrasif

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada material *coating*. Material *coating* diletakkan pada dudukan dengan pembebanan 250 gram dan kemudian digosokkan pada *abrasive belt* berupa *aluminium oxide* (Al_2O_3) menggunakan sebuah alat dengan kecepatan 200 meter/menit. Pengujian ini dilakukan selama 5 menit untuk mendapatkan *wear track* sejauh 1000 m untuk setiap sampel. Perhitungan laju keausan dilakukan dengan mengukur berat yang hilang (*weight loss*) selama proses dan kemudian dibagi dengan luas area yang tergerus pada sampel. Luas permukaan yang tergerus dihitung dengan menggunakan *software* Image J dengan skala cm^2 dimana satuan dari pengujian ini berupa g/cm^2 . Nilai hasil pengujian ketahanan abrasi atau *weight loss* dapat dilihat pada Tabel

4.9. Tabel 4. 9 Nilai Laju Keausan Variabel

Variabel (<i>Thermal Cycle</i>)	Kehilangan Berat (%)	<i>Weight Loss</i> (g/cm^2)
0	0.399	0.0628
1	0.311	0.0609
5	0.421	0.0591
10	0.328	0.0251



Gambar 4. 14 Pengaruh Jumlah Cycle Terhadap *Weight Loss*

Pada Tabel 4.9, didapatkan data nilai massa yang hilang (*weight loss*) keempat sampel sebelum dan setelah dilakukan *thermal cycle*. Berdasarkan tabel tersebut nilai *weight loss* pada sampel tanpa perlakuan *thermal cycle* (*as-received*) sebesar 0.0628 g/cm^2 dimana mengalami penurunan *weight loss* hingga cycle ke-10 sebesar 0.0251 g/cm^2 . Hal ini dikarenakan pada sampel tanpa *thermal cycle* (*as-received*) memiliki permukaan coating yang paling kasar, masih banyak terdapat partikel solid yang kasar (*coarse grain*) dan *incomplete melting particle* yang terlihat pada Gambar 4.6 (a). Sedangkan pada sampel sepuluh *thermal cycle* memiliki permukaan coating yang paling halus dan homogen diantara seluruh sampel dimana sudah banyak terdapat partikel-partikel melt dan partikel yang lebih halus (*fine grain*) sehingga pada sampel ini memiliki tingkat kekasaran yang paling rendah yang terlihat pada Gambar 4.6 (d). Tingkat kekasaran permukaan ditunjukkan pada Gambar 4.9 dimana variabel 10 *thermal cycle* memiliki tingkat kekasaran terendah. Tingkat



kekasaran yang rendah menghasilkan persebaran fasa-fasa keras yang lebih merata.

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh jumlah *thermal cycle* terhadap laju keausan setiap sampel (sebelum dan sesudah *thermal cycle*). Gambar tersebut menunjukkan adanya penurunan laju keausan seiring bertambahnya jumlah *cycle*. Hal ini selain disebabkan oleh tingkat kekasaran permukaan coating yang semakin halus juga disebabkan oleh nilai kekerasan dari setiap sampel yang ada. Laju keausan yang rendah pada sampel dengan perlakuan sepuluh *cycle* disebabkan oleh terbentuknya fasa keras seperti CrB (*chromium borides*) dengan intensitas yang cukup banyak dimana fasa ini merupakan fasa yang sangat keras sehingga mampu menurunkan laju keausan dari sampel.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan jumlah *thermal cycle* menyebabkan mikrostruktur yang lebih homogen dan penurunan persentase porositas hingga 1.529% pada variabel 10 *thermal cycle*.
2. Peningkatan jumlah *thermal cycle* hingga 10 kali memberikan peningkatan kekuatan adhesi coating hingga 10.29 MPa pada cycle ke-10.
3. Jumlah *thermal cycle* menyebabkan nilai kekerasan mikro yang cenderung meningkat hingga 774.47 HV pada cycle ke-10.
4. Peningkatan jumlah *thermal cycle* menyebabkan nilai ketahanan abrasi meningkat yang ditandai dengan nilai berat yang hilang (*weight loss*) semakin menurun hingga 0.0251gr/cm² pada variabel 10 *thermal cycle*.

5.2 Saran

Disarankan dalam pelaksanaan penelitian berikutnya agar:

1. Parameter proses *coating* dengan *flame spray & fused* yang lebih diperhatikan untuk mendapatkan lapisan coating yang maksimal.
2. Parameter *thermal cycle* ditambahkan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat terhadap kekuatan abrasi dan adhesi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, Muhammad Sjahid, Fredi Suryadi, and Dedy Dwi Prastyo. 2009. "Kinerja Economizer Pada Boiler." *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11, No. 1.
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering Seventh Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Campbell, F.C. 2012. *Phase Diagrams—Understanding the Basics*. Ohio: ASM International.
- Chaithanya, Sri M. 2007. *Processing & Characterization of Nickel - Aluminide Coating On Metal Substrate*. Magister Thesis, Rourkela: National Institute of Technology Rourkela.
- Davis, J.R. 2013. *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International.
- Fauchais, Pierre L. 2014. *Thermal Spray Fundamentals: From Powder to Part*. New York: Springer Science+Business Media.
- González, R., M.A. García, I. Peñuelas, M. Cadenas, Ma. del Rocío Fernández, A. Hernández Battez, and D. Felgueroso. 2007. "Microstructural study of NiCrBSi coatings obtained by different processes." *Wear* 263 (2007) 619–624 619-624.
- Gonzalez, R., M. Cadenas, R. Fernandez, J.L. Cortizo, and E. Rodríguez. 2007. "Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser." *Wear* 262 (2007) 301–307 301-307.
- Kim, Hyung-Jun, Soon-Young Hwang, Chang-Hee Lee, and Philippe Juvanon. 2003. "Assessment of wear performance of flame sprayed and fused Ni-based coatings." *Surface and Coatings Technology* 172 262-269.

- Kumar, Naresh, and Rupinder Kanwar. 2012. "To Study Erosion Behavior of Cr₂O₃ Coating on SS-304 Boiler Steel." *International Journal on Emerging Technologies* 69-73.
- Miguel, J.M., J.M. Guilemany, and S. Vizcaino. 2003. "Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes." *Tribology International* 36 181-187.
- Mishra, Dinesh Kumar, Renu Kumari, and Dr. Sushant Kumar BadJena. 2002. *Metallurgical Thermodynamics & Kinetics*. Burla: Department of Metallurgy & Materials Engineering.
- Outokumpu. 2013. *Handbook of Stainless Steel*. Finland: Outokumpu Oyj.
- Pawlowski, Lech. 2008. *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings 2nd Edition*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Santonen, Tiina, Helene Stockmann, and Antti Zitting. 2010. *Review On Toxicity of Stainless Steel*. Finland: Finnish Institute of Occupational Health.
- Senthilkumar, V., B. Thiyagarajan, M. Duraiselvam, and K. Karthick. 2015. "Effect of thermal cycle on Ni–Cr based nanostructured thermal spray coating in boiler tubes." *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 25 1533-1542.
- Siegmund, A. J. 1997. *Metal Alloy; Corrosion Protection for the Future in NACE International Annual Conference and Exposition*. Houston: NACE.
- Silva, Leandro J. da, and AnaSofia C.M.D'Oliveira. 2016. "NiCrSiBC coatings: Effect of dilution on microstructure and high temperature tribological behavior." *Wear* 350-351 130-140.
- Sundararajana, T., S. Kurodaa, F. Abea, and S. Sodeokab. 2004. "Effect of thermal cycling on the adhesive strength of Ni–Cr coatings." *Surface & Coatings Technology* 194 290–299.

- Teir, Sebastian. 2002. *Basics of Steam Generation*. Finland: Energy Engineering and Environmental Protection Publications.
- Shepardson, Kevin. 2008. *Diffusion and Phase Change during Heat Treatment of Ni-B Coatings on Steel*. Worcester Polytechnic Institute: Materials Science & Engineering.
- Sarikaya, Ozkan. 2004. *Effect of some parameters on microstructure and hardness of alumina coatings prepared by the air plasma spraying process*. *Surface & Coatings Technology* 190 388– 393.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Colmonoy 6 (NiCrSiB)



WALLCOLMONOY
SURFACING ALLOYS



Photomicrograph of Colmonoy 6 fused coating, original at 50x

WALLCOLMONOY CORP. (USA)
TECHNICAL DATA SHEET

Colmonoy® 6

A Nickel-Based
Hard-Surfacing Alloy
to Resist Wear, Heat,
Corrosion and Galling

Description:

Colmonoy 6 is rated excellent in resistance to abrasion, corrosion and galling and good on impact. The alloy has excellent red hardness and has no peer in weldability. Colmonoy 6 is very stable and does not anneal. The alloy excels in thermal-to-thermal wear due to low coefficient of friction. The alloy can be hot-formed while in the plastic condition (between the solidus and liquidus temperatures). Colmonoy 6 is spray deposited and fused to achieve a hardness range of **Rockwell C 56-63**.

Applications include shafts, sleeves, and valve trims. Some specific examples are ball joints, bearings, brick augers, bushings, cams, chuck jaws, conveyor parts, deep hole drills, feeder shoes, glass plungers, mill guides, mixing blades, pistons, plug gauges, pump shafts, rocker arms, screw conveyors, sprockets center, trip dogs, valves, disks, and seats.

Specification Equivalents:

GE P50YP164, N99646, MIL-RNiCr-C-1 (Rod), and AWS A5.21 Classification ERNiCr-C (applicable to chemistry only).

Nominal Composition - % by Weight:

B	C	Cr	Fe	Si	Ni
3.0	0.6	14.0	4.0	4.2	Bal

Forms Available:

Colmonoy 6 is supplied as crushed powder for application with Wall Colmonoy Spraywelder™ System. Also available as ingot, concast bare rod and with a slightly different chemistry, Colmonoy 6PTA.

Alloy	Mesh Size	Application
Colmonoy 6	140 mesh - 500 mesh	Spray-n-Fuse

Colmonoy 6:

Colmonoy 6 is designed for spray and fuse applications, using combustion thermal spray systems such as Wall Colmonoy Spraywelder™ System and Wall Colmonoy Fusewelder® Torch.

Fused coatings form a metallurgical bond with the substrate providing inter-particle cohesive strength and substrate-to-coating adhesive strength with very low porosity. The coatings show good resistance to wear and impact and their hot hardness is excellent. (Table 3)

2. Sertifikat Stainless Steel SS 304

INSPECTION CERTIFICATE 3.1		ISSUE DATE: 2016-03-26												
ACCORDING TO EN 10204		CERTIFICATE No 96592												
Rev 1														
														
MANUFACTURER'S MARK	BHS	INSPECTOR'S STAMP	MELTING PROCESS											
CUSTOMER	PT RUTINDO RAYA MELIA JL. PUPAK 131, SURABAYA 60171, INDONESIA SURABAYA Indonesia		ORDER No: BHS3859 ITEM No: 16 DELIVERY NOTE No: DEL027242 CUSTOMER ORDER No: 10162032											
SPECIFICATIONS		MATERIAL CODE	CASE											
ASTM A304 / A304-03a ASME BPVC-III SA200 / SA200M-00.13		304 304	BPC1F1405 (1037 kg) BPC1F1405 (1067 kg) BPC1F1405 (1060 kg)											
TOLERANCE: AS/MA-30		KURZNAME												
PRODUCT: 2B Finish, Cold Rolled, Annealed & Pickled, Skin passed		HEAT No: A1594775												
DIMENSIONS: 3 mm X 1220 mm X 2440 mm		QUANTITY: 65	WEIGHT: 4543 Kg											
CHEMICAL COMPOSITION (%)		MATERIAL No: 70023407												
	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	N						
Min	0.08	0.030	0.025	0.60	0.25	17.5	8.0							
Max	0.04	0.031	0.027	1.13	0.43	18.7	10.9	0.19						
MECHANICAL PROPERTIES														
TEMPERATURE	DIRECTION	POSITION	Yield MPa	Yield 2 MPa	ASO %	1000W 1000W								
Ambient	Transverse	Perpendicular Mat	315	205	40									
Ambient	Transverse	Head Tail	660	285	52	24								
INTERGRANULAR CORROSION														
SPECIFICATION			RESULT											
			This method is from first memory communication. This solution level solution for first material is not greater than the named back ground of first. This document is in case without alteration or mistake and may only be reproduced as full. Tests to verify finish and quality have been made. Verwendungsprüfung wurde durchgeführt. Visual and dimensional checked for acceptance. Dimensioning system and dimensioning chart have been done. The delivery is in accordance with the order. Die Lieferung entspricht den Bestellbedingungen. This is a control system in a standard requirement of EN ISO 9001. Material has been FME Tested. BAHRU STAINLESS SION BHD IS MEMBER OF ACRONEX GROUP											
HEAT TREATMENT (SOLUTION ANNEALED)														
Annual °C			Quench											
1050 - 1100			AIRSPRAY											
										BAHRU STAINLESS PTD 4059 (P.O 108), Jalan Rumbia 4 Tanjung Lingsai Industrial Complex 81700 Pematang Johor, Malaysia Siew Le Fook QC ENGINEER				

1. JCPDS (01-071-4653)

Name and formula

Reference code: 01-071-4653
Mineral name: Nickel, syn
Compound name: Nickel
Empirical formula: Ni
Chemical formula: Ni

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225
a (Å): 3.5400
b (Å): 3.5400
c (Å): 3.5400
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁶ pm³): 44.36
Z: 4.00
RIR: 7.46

Status, subfiles and quality

Status: Alternate Pattern
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Forensic

ANK: N
Creation Date: 11/15/2010
Modification Date: 1/19/2011
ANK: N
ICSD Collection Code: 53807
Calculated Pattern Original Remarks: Same data from 2nd ref. (Hull & Davey)
Cell from 3rd reference: 3.53, from 4th ref.: 3.517, m.p. 1726 K. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted.
Unit Cell Data Source: Single Crystal.

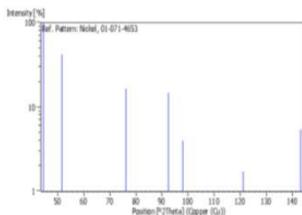
References

Primary reference: *Calculated from ICSD using PCWD-12++*
Structure: Hull, A.W., *Ann. Phys. (Weinheim, Ger.)* **61**, 421, (1920)

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta (deg)	I (%)
1	1	1	1	2.04380	44.283	100.0
2	2	0	0	1.77000	51.596	42.1
3	2	2	0	1.25160	75.970	16.6
4	3	1	1	1.06740	92.383	14.9
5	2	2	2	1.03190	97.840	4.0
6	4	0	0	0.89500	121.009	1.7
7	3	3	1	0.81210	143.074	5.4

Stick Pattern



2. JCPDS (00-038-0419)

Date: 12/6/2016 Time: 2:50:18 PM User: Teknik Material

File: II

Name and formula

Reference code: 00-038-0419

Mineral name: Awaruite
Compound name: Iron Nickel

Empirical formula: FeNi_3
Chemical formula: FeNi_3

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: $\text{Pm}\bar{3}\text{m}$
Space group number: 221

a (Å): 3.5450
b (Å): 3.5450
c (Å): 3.5450
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10^6 pm^3): 44.55
Z: 1.00

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
Mineral
Quality: Blank (B)

Comments

Color: White in reflected light
Creation Date: 3/30/1987
Modification Date: 1/11/2011

Date: 12/6/2016 Time: 2:50:18 PM User: Teknik Material

File: II

Uk

Analysis: Chemical analysis (wt %): Fe 27.34, Ni 69.88, Co 2.78. Color: White in reflected light. General Comments: Highly magnetic.
Locality: Specimen from Awarua Bay, New Zealand. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

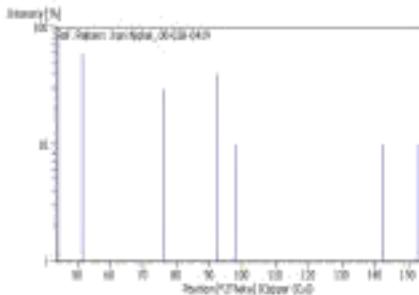
References

Primary reference: Williams, K., *Am. Mineral.*, **45**, 450, (1960)
Structure: Lutts, A., Gielen, P., *Phys. Status Solidi A*, **41**, K81, (1970)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2 θ a[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.04400	44.279	100.0
2	2	0	0	1.77200	51.533	60.0
3	2	2	0	1.25300	75.870	30.0
4	3	1	1	1.06900	92.205	40.0
5	2	2	2	1.02300	97.699	10.0
6	3	3	1	0.81400	142.281	10.0
7	4	2	0	0.79200	153.114	10.0

Stick Pattern



3. JCPDS (03-065-1428)

Date: 12/14/2016 Time: 1:31:13 PM User: Teknik Material

File: II

Name and formula

Reference code: 03-065-1428
 Compound name: Nickel Silicon
 Empirical formula: Ni_5Si_2
 Chemical formula: Ni_5Si_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
 Space group: Cmc21
 Space group number: 36
 a (Å): 12.2290
 b (Å): 10.8050
 c (Å): 6.9240
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Volume of cell (10^6 pm^3): 914.90
 Z: 16.00
 RIR: 1.74

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Inorganic
 NIST Pattern
 Quality: Indexed (i)

Comments

Creation Date: 2/11/2005
 Modification Date: 1/26/2011
 Deleted Or Rejected By: Delete: same as 01-089-7167. NIST M&A collection code: N AL1489 6264. Temperature Factor: B=S(Ni). Minor Warning

reported/abstracted on the cell dimension. No Rfactor reported/abstracted.

References

Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*
 Structure: *G.Pilström, Acta Chem. Scand., 15, 893, (1961)*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	8.09720	10.918	29.1
2	2	0	0	6.11450	14.475	4.4
3	0	2	0	5.40250	16.395	2.1
4	1	1	1	5.26240	16.834	0.4
5	0	2	1	4.25940	20.838	0.1
6	2	2	0	4.04860	21.936	1.4
7	3	1	0	3.81390	23.305	0.3
8	2	2	1	3.49500	25.465	5.6
9	3	1	1	3.34070	26.662	2.5
10	1	1	2	3.18320	28.008	36.5
11	1	3	1	3.09140	28.857	13.9
12	4	0	0	3.05720	29.187	2.0
13	2	0	2	3.01260	29.629	3.1
14	0	2	2	2.91490	30.646	7.1
15	3	3	0	2.69910	33.164	13.5
16	0	4	0	2.69910	33.164	13.5
17	4	2	0	2.66080	33.656	5.8
18	2	2	2	2.63120	34.046	3.3
19	3	1	2	2.56340	34.975	1.1
20	3	3	1	2.51480	35.674	3.6
21	0	4	1	2.51480	35.674	3.6
22	4	2	1	2.48370	36.136	0.4
23	2	4	0	2.47090	36.329	1.3
24	1	3	2	2.44550	36.720	3.4
25	5	1	0	2.38540	37.680	0.1
26	2	4	1	2.32710	38.661	0.3
27	4	0	2	2.29160	39.284	2.2
28	5	1	1	2.25540	39.941	1.9
29	1	3	3	2.21960	40.613	0.1
30	3	3	2	2.12970	42.409	17.2
31	0	4	2	2.12970	42.409	17.2
32	0	2	3	2.12240	42.561	12.6
33	4	2	2	2.10970	42.830	3.6

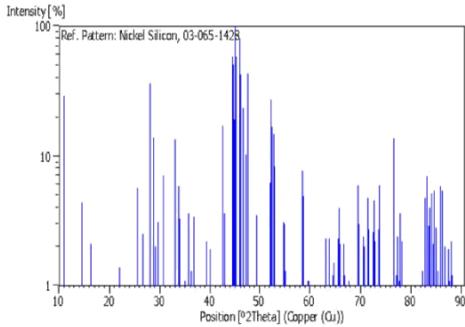
34	6	0	0	2.03820	44.411	59.0
35	1	5	1	2.03410	44.506	50.7
36	5	3	0	2.02430	44.733	19.3
37	4	4	0	2.02430	44.733	19.3
38	2	4	2	2.01120	45.040	100.0
39	2	2	3	2.00510	45.184	58.6
40	3	1	3	1.97460	45.922	80.7
41	5	1	2	1.96430	46.177	42.3
42	5	3	1	1.94210	46.736	23.6
43	4	4	1	1.94210	46.736	23.6
44	1	3	3	1.91920	47.327	10.4
45	6	2	0	1.90930	47.588	43.3
46	3	5	0	1.90930	47.588	43.3
47	6	2	1	1.84060	49.480	3.5
48	3	5	1	1.84060	49.480	3.5
49	1	5	2	1.81290	50.289	0.3
50	0	6	0	1.80080	50.650	0.1
51	3	3	3	1.75470	52.079	6.2
52	0	4	3	1.75470	52.079	6.2
53	4	4	2	1.74750	52.310	27.1
54	5	3	2	1.74750	52.310	27.1
55	4	2	3	1.74280	52.462	16.9
56	0	6	1	1.74280	52.462	16.9
57	0	0	4	1.73100	52.847	14.9
58	2	6	0	1.72460	53.058	8.3
59	7	1	0	1.72460	53.058	8.3
60	1	1	4	1.69280	54.136	0.4
61	2	4	3	1.68660	54.351	0.3
62	7	1	1	1.67350	54.812	3.1
63	3	5	2	1.67350	54.812	3.1
64	6	2	2	1.67030	54.926	3.0
65	2	0	4	1.66550	55.098	1.3

66	5	1	3	1.65870	55.343	0.3
67	0	2	4	1.64840	55.719	0.8
68	6	4	0	1.62700	56.517	0.7
69	0	6	2	1.59760	57.653	0.7
70	2	2	4	1.59160	57.891	0.9
71	6	4	1	1.58380	58.203	0.8
72	3	1	4	1.57690	58.483	7.6
73	5	5	1	1.57690	58.483	7.6
74	7	3	0	1.57180	58.691	4.9
75	1	5	3	1.56450	58.992	0.4
76	4	6	0	1.55170	59.527	1.1
<hr/>						
77	1	3	4	1.54760	59.701	1.1
78	2	6	2	1.54760	59.701	1.1
79	7	1	2	1.54370	59.867	0.6
80	7	3	1	1.53140	60.398	0.7
81	1	7	0	1.53140	60.398	0.7
82	8	0	0	1.52860	60.520	0.4
83	4	4	3	1.52190	60.815	0.9
84	5	3	3	1.52190	60.815	0.9
85	4	6	1	1.51410	61.161	0.7
86	4	0	4	1.50630	61.532	0.3
87	1	7	1	1.49530	62.015	0.1
88	3	5	3	1.47250	63.084	2.3
89	6	4	2	1.47250	63.084	2.3
90	8	2	0	1.47010	63.199	1.6
91	6	2	3	1.47010	63.199	1.6
92	5	5	2	1.46690	63.353	0.9
93	0	4	4	1.45710	63.829	2.3
94	3	3	4	1.45710	63.829	2.3
95	4	2	4	1.45100	64.129	0.4
96	3	7	0	1.44350	64.503	1.2
97	8	2	1	1.43880	64.739	1.5
98	7	3	2	1.43120	65.125	0.4
99	0	6	3	1.41980	65.714	2.3
100	2	4	4	1.41770	65.823	4.0
101	3	7	1	1.41320	66.060	2.1
102	1	7	2	1.40100	66.710	2.1
103	5	1	4	1.40100	66.710	2.1
104	8	0	2	1.39840	66.850	1.2
105	2	6	3	1.38150	67.778	1.1
106	7	1	3	1.38150	67.778	1.1
107	1	1	5	1.36500	68.710	0.1
108	7	5	0	1.35860	69.080	0.7
<hr/>						
109	8	2	2	1.35380	69.360	1.0
110	6	6	0	1.35060	69.548	5.9
111	0	8	0	1.35060	69.548	5.9
112	9	1	0	1.34820	69.689	3.0
113	1	5	4	1.34280	70.011	0.4
114	0	2	5	1.34280	70.011	0.4
115	7	5	1	1.33240	70.638	2.4
116	3	7	2	1.33240	70.638	2.4
117	8	4	0	1.32980	70.797	2.0
118	6	4	3	1.32980	70.797	2.0
119	0	8	1	1.32570	71.049	0.7

120	5	5	3	1.32570	71.049	0.7
121	9	1	1	1.32330	71.198	0.9
122	6	6	1	1.32330	71.198	0.9
123	6	0	4	1.31940	71.440	4.7
124	2	8	0	1.31940	71.440	4.7
125	5	3	4	1.31530	71.697	2.7
126	4	4	4	1.31530	71.697	2.7
127	2	2	5	1.31030	72.014	0.8
128	8	4	1	1.30650	72.256	0.7
129	5	7	0	1.30650	72.256	0.7
130	3	1	5	1.30160	72.571	2.6
131	7	3	3	1.29920	72.727	4.5
132	2	8	1	1.29550	72.968	2.2
133	4	6	3	1.28770	73.482	0.8
134	1	3	5	1.28540	73.635	2.7
135	3	5	4	1.28240	73.836	5.9
136	6	2	4	1.28240	73.836	5.9
137	9	3	0	1.27130	74.589	0.8
138	7	5	2	1.26470	75.046	0.2
139	0	8	2	1.25830	75.494	0.2
140	9	1	2	1.25630	75.635	0.5
141	6	6	2	1.25630	75.635	0.5
142	9	3	1	1.25040	76.055	0.2
143	0	6	4	1.24800	76.228	0.3
144	8	4	2	1.24180	76.677	13.7
145	4	8	0	1.23540	77.148	1.2
146	3	3	5	1.23240	77.370	2.4
147	2	8	2	1.23240	77.370	2.4
148	4	2	5	1.22840	77.669	1.1
149	3	7	3	1.22390	78.009	3.6
150	10	0	0	1.22390	78.009	3.6
151	5	7	2	1.22140	78.199	2.2

Date: 12/14/2016 Time: 1:31:13 PM User: Teknik Material

File: II



4. JCPDS (03-065-5559)

Date: 12/6/2016 Time: 2:49:20 PM User: Teknik Material

File: II

Name and formula

Reference code: 03-065-5559
Compound name: Chromium Nickel
Empirical formula: $\text{Cr}_{1.12}\text{Ni}_{2.88}$
Chemical formula: $\text{Cr}_{1.12}\text{Ni}_{2.88}$

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225
a (Å): 3.5400
b (Å): 3.5400
c (Å): 3.5400
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10^6 pm^3): 44.36
Z: 1.00

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
NIST Pattern
Quality: Indexed (f)

Comments

Creation Date: 2/11/2005
Modification Date: 1/26/2011
NIST N&A collection code: L 22154 41311 0

Date: 12/6/2016 Time: 2:49:20 PM User: Teknik Material

File: II

Sample Preparation: prepared by melting the raw materials carbonyl nickel and electrolytic chromium and casting in a graphite mold, 7 days
Calculated Pattern Original Remarks: sample composition is $\text{Cr}_{1.12}\text{Ni}_{2.88}$; no evidence for superstructure reflections of AuCu_3 type ordering
Temperature Factor: 4.2 K
TF was not given, B set to 1.000 for calc
Temperature of Data Collection: -269 C
Minor Warning: No s.d. reported/abstracted on the cell dimension. No R factor reported/abstracted
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

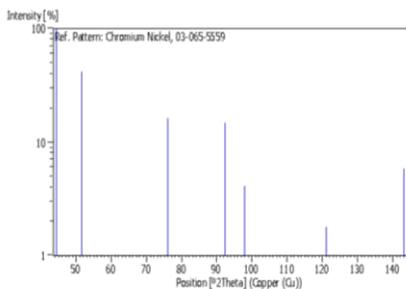
References

Primary reference: Calculated from NIST using POWD-12++
Structure: Roberts, B. W., Swalin, R. A., *Trans. Am. Inst. Min. Metall. Pet. Eng.*, **209**, 845, (1957)

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta (deg)	I (%)
1	1	1	1	2.04380	44.263	100.0
2	2	0	0	1.77000	51.596	41.8
3	2	2	0	1.25160	75.970	16.4
4	3	1	1	1.06740	92.383	14.9
5	2	2	2	1.02190	97.840	4.1
6	4	0	0	0.88500	121.009	1.8
7	3	3	1	0.81210	143.074	5.8

Stick Pattern



5. JCPDS (00-032-0277)

Date: 12/16/2016Time: 10:56:10 AMUser: Teknik Material

File: III

Name and formula

Reference code: 00-032-0277
 Compound name: Boron Chromium
 Common name: $ZrCr_2B$
 Empirical formula: BCr
 Chemical formula: CrB

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
 Space group: $Cmcm$
 Space group number: 63
 a (Å): 2.9663
 b (Å): 7.8666
 c (Å): 2.9322
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Calculated density (g/cm^3): 6.10
 Volume of cell ($10^{-6} pm^3$): 69.42
 Z: 4.00
 RIR: 1.22

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Inorganic
 NBS pattern
 Quality: Star (S)

Comments

Color: Gray metallic

Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Additional Patterns: To replace 00-009-0361
 Color: Gray metallic
 Sample Source or Locality: The sample was obtained from Cerac, Menomonee Falls, Wisconsin, USA
 Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

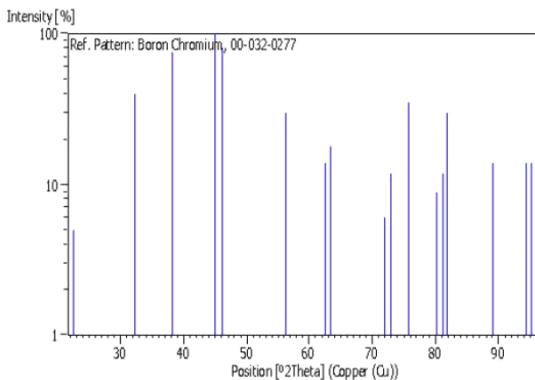
Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25, 17, 22, (1980)*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	3.93600	22.572	5.0
2	1	1	0	2.77600	32.220	40.0
3	0	2	1	2.35100	38.252	75.0
4	1	1	1	2.01600	44.927	100.0
5	1	3	0	1.96500	46.159	80.0
6	1	3	1	1.63220	56.321	30.0
7	2	0	0	1.48290	62.591	14.0
8	0	0	2	1.46630	63.382	18.0
9	2	2	0	1.38810	67.412	1.0
10	0	6	0	1.31110	71.963	6.0
11	1	1	2	1.29610	72.929	12.0
12	1	5	1	1.25550	75.692	35.0
13	2	2	1	1.25430	75.777	30.0
14	0	6	1	1.19700	80.110	9.0
15	2	4	0	1.18400	81.172	12.0
16	1	3	2	1.17530	81.910	20.0

Date: 12/16/2016 Time: 10:56:10 AM User: Teknik Material

File: III



6. JCPDS (01-071-7595)

Date: 12/5/2016 Time: 1:24:34 PM User: Teknik Material

File: III

Name and formula

Reference code: 01-071-7595
Compound name: Chromium Nickel
Empirical formula: CrNi₃
Chemical formula: (CrNi₃)

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225
a (Å): 3.5520
b (Å): 3.5520
c (Å): 3.5520
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁻⁶ pm³): 44.61
Z: 1.00
RIR: 7.48

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
ICSD Pattern
Inorganic
Quality: Indexed (I)

Comments

ANX: N
Creation Date: 11/19/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: N

Date: 12/5/2016 Time: 1:24:34 PM User: Teknik Material

File: III

Analyse: Cr1 Ni3
Formula from original source: (Cr Ni3)
ICSD Collection Code: 102820
Calculated Pattern Original Remarks: Cell at 473 K: 3.560, at 673 K: 3.572, at 873 K: 3.586. Cell at 4.2 K: 3.54 (2nd ref., I reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted. Wyckoff Seq. Diffraction.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
Structure: Lebedev, Yu.M., Progrushchenko, A.V., *Ukr. Fiz. Zh. (Russ. Ed.)*, **14**, 282, (1969)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2.05080	44.124	100.0
2	2	0	0	1.77600	51.409	42.9
3	2	2	0	1.25580	75.671	17.0
4	3	1	1	1.07100	91.983	15.4
5	2	2	2	1.02540	97.392	4.2
6	4	0	0	0.88800	120.328	1.9
7	3	3	1	0.81490	141.912	5.9

Stick Pattern

7. JCPDS (01-082-1699)

Date: 12/16/2016 Time: 11:01:30 AM User: Teknik Material

File: I

Name and formula

Reference code: 01-082-1699
Compound name: Nickel Boron
Common name: trnickel boride
Empirical formula: BNi_3
Chemical formula: Ni_3B

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: Pnma
Space group number: 62
a (Å): 5.2320
b (Å): 6.6090
c (Å): 4.3894
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10^{-6} pm^3): 151.78
Z: 4.00
RIR: 1.50

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
ICSD Pattern
Inorganic
Quality: Superconducting Material
Star (S)

Comments

ANX: A3X

Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: ASX
 Analysis: B1 Ni3
 Formula from original source: Ni3 B
 ICSD Collection Code: 75794
 Wyckoff Sequence: d c2(PNMA)
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997)*
 Structure: Chakoumakos, B.C., Paranthaman, M., *Physica C: Superconductivity*, 227, 143, (1994)

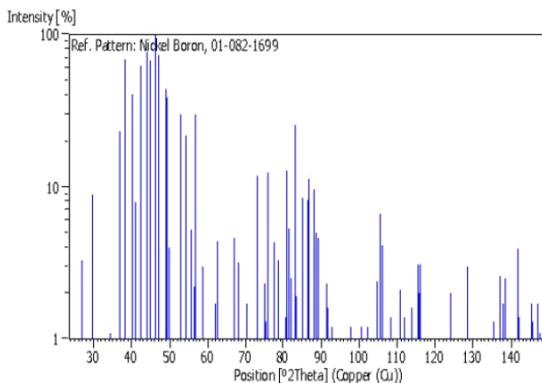
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	1	3.65640	24.323	0.1
2	1	0	1	3.36270	26.485	0.3
3	0	2	0	3.30450	26.960	2.3
4	1	1	1	2.99710	29.786	6.8
5	2	0	0	2.61600	34.250	1.1
6	2	1	0	2.43240	36.925	23.1
7	1	2	1	2.35700	38.151	68.2
8	2	0	1	2.24720	40.093	40.5
9	0	0	2	2.19470	41.095	7.9
10	2	1	1	2.12760	42.452	62.4
11	2	2	0	2.05110	44.117	76.8
12	1	0	2	2.02380	44.744	67.7
13	0	3	1	1.96890	46.063	100.0
14	1	1	2	1.93220	46.812	73.8
15	2	2	1	1.85820	48.981	44.2
16	1	3	1	1.84280	49.417	38.6
17	0	2	2	1.82820	49.839	4.0
18	1	2	2	1.72590	53.015	30.0
19	2	3	0	1.68510	54.403	21.9
20	0	4	0	1.65220	55.579	5.2
21	2	1	2	1.62950	56.422	2.2
22	3	0	1	1.62080	56.752	30.0
23	2	3	1	1.57410	58.597	3.0
24	3	1	1	1.57410	58.597	3.0
25	2	2	2	1.49850	61.868	1.7
26	1	3	2	1.49040	62.241	0.7
27	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
28	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
29	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
30	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
31	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
32	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
33	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
34	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
35	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
36	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
37	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
38	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
39	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
40	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
41	-	-	-	1.47770	62.755	0.1
42	2	0	3	1.27700	74.200	0.1
43	0	5	1	1.26570	74.976	2.3
44	3	2	2	1.26190	75.241	1.3
45	4	0	1	1.25350	75.834	12.5
46	2	1	3	1.25350	75.834	12.5
47	4	1	1	1.23160	77.430	4.3
48	1	5	1	1.23020	77.535	3.7
49	0	3	3	1.21880	78.398	2.2
50	4	2	0	1.21620	78.598	3.3
51	2	2	3	1.19110	80.588	1.4
52	1	3	3	1.18700	80.925	12.9
53	2	5	0	1.17980	81.522	5.3
54	4	2	1	1.17200	82.181	2.5
55	3	3	2	1.16060	83.167	25.4
56	3	4	1	1.15700	83.483	1.9
57	2	5	1	1.13930	85.082	8.4
58	4	3	0	1.12470	86.455	8.1
59	3	0	3	1.12090	86.820	11.3
60	4	1	2	1.10670	88.219	9.7
61	1	5	2	1.10670	88.219	9.7
62	0	6	0	1.10150	88.745	5.0
63	0	0	4	1.09740	89.164	4.6
64	4	3	1	1.08950	89.986	0.1
65	1	0	4	1.07400	91.652	2.3
66	1	4	3	1.07210	91.861	1.6
67	4	2	2	1.06380	92.788	0.2
68	3	2	3	1.06150	93.049	1.2
69	1	1	4	1.06010	93.209	0.3

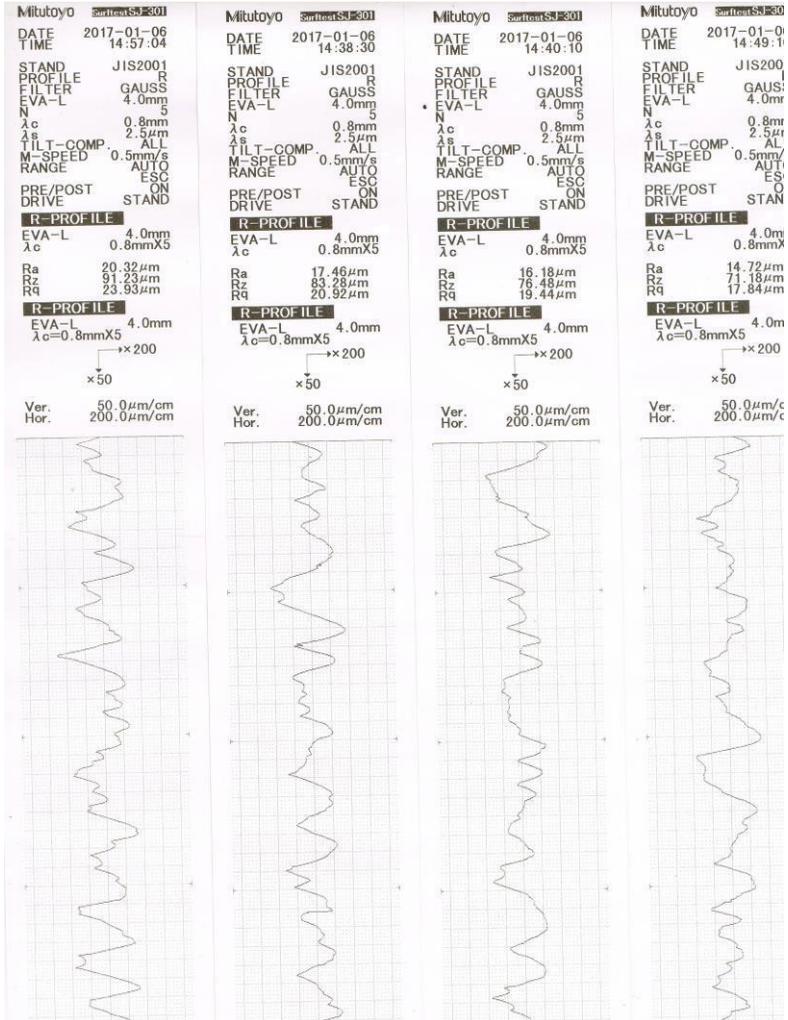
70	3	4	2	1.05250	94.068	0.1
71	1	6	1	1.04680	94.760	0.1
72	2	5	2	1.03910	95.687	0.9
73	4	4	0	1.02550	97.379	0.6
74	3	5	1	1.02430	97.532	0.5
75	1	2	4	1.02140	97.904	1.2
76	5	0	1	1.01790	98.358	0.1
77	2	4	3	1.01040	99.347	0.2
78	5	1	1	1.00600	99.940	0.8
79	4	3	2	1.00090	100.637	1.2
80	2	1	4	1.00030	100.720	1.1
81	4	4	1	0.99860	100.956	0.2
82	3	3	3	0.99860	100.956	0.2
83	2	6	1	0.98910	102.300	1.2
84	0	6	2	0.98450	102.967	0.3
85	0	5	3	0.98080	103.512	0.1
86	4	0	3	0.97510	104.365	0.6
87	5	2	1	0.97280	104.715	2.4
88	2	2	4	0.96760	105.517	6.6
89	1	6	2	0.96760	105.517	6.6
90	1	5	3	0.96400	106.082	4.1
91	4	1	3	0.96400	106.082	4.1
92	3	5	2	0.94970	108.407	1.4
93	5	0	2	0.94450	109.286	0.5
94	5	1	2	0.93500	110.944	2.1
95	4	2	3	0.93500	110.944	2.1
96	4	4	2	0.92970	111.900	1.4
97	4	5	0	0.92970	111.900	1.4
98	3	4	3	0.92760	112.264	0.5
99	5	3	1	0.92400	112.953	0.4
100	0	7	1	0.92300	113.140	1.0
101	2	6	2	0.92140	113.442	0.2

Date: 12/16/2016 Time: 11:01:30 AM User: Teknik Material

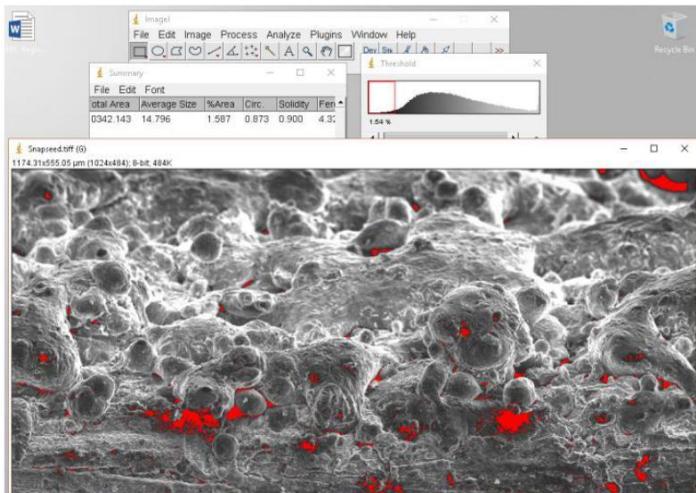
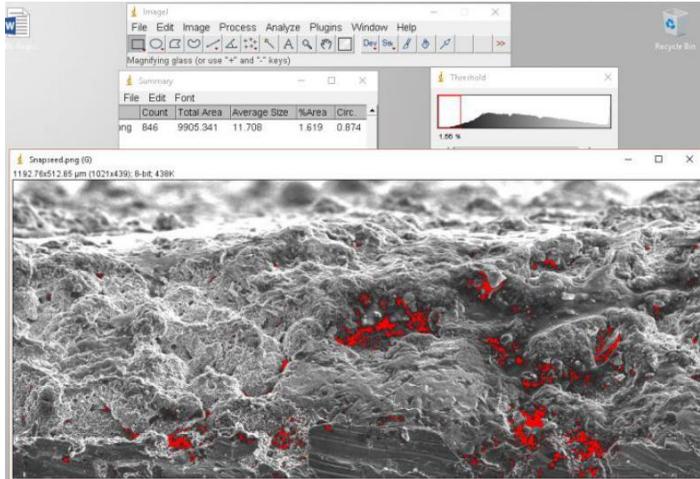
File: I

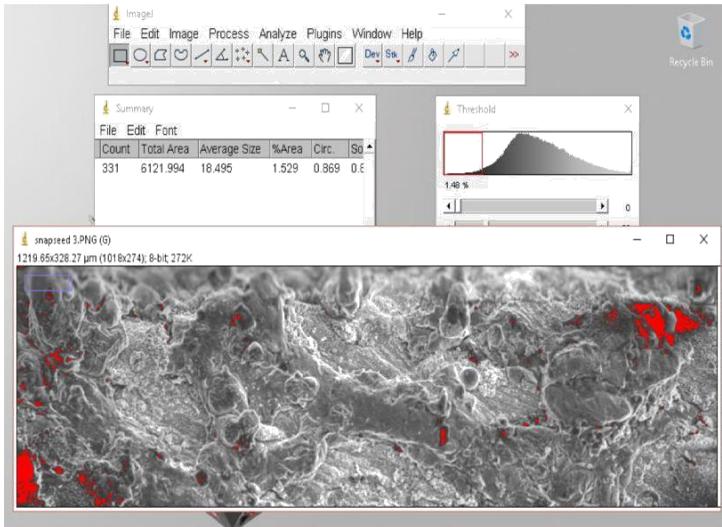
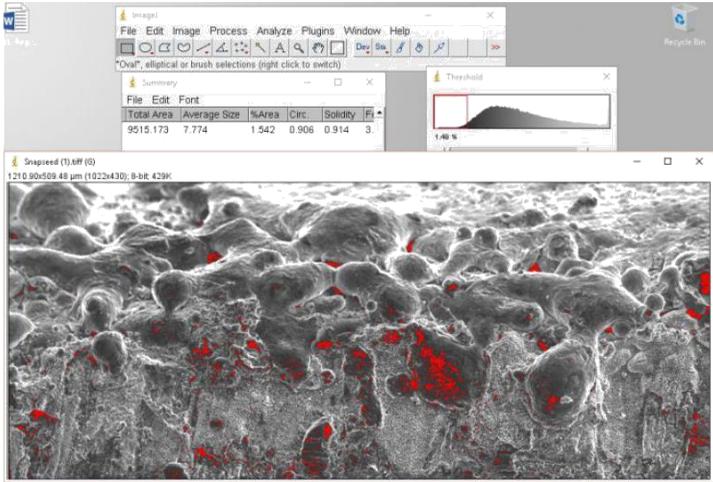


8. Hasil Pengujian Kekasaran



9. Hasil Perhitungan Porositas Menggunakan Image J





10. Perhitungan Ketahanan Abrasi

Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Selisih Berat	Luas Area (cm ²)	Ketahanan Abrasif (gr/cm ²)
2.2035	2.1947	0.0088	0.140	0.0628
2.0560	2.0496	0.0064	0.105	0.0609
1.6844	1.6773	0.0071	0.120	0.0591
2.1007	2.0938	0.0069	0.274	0.0251

$$\text{Ketahanan Abrasif} = \frac{h}{\text{Luas Area}}$$

11. Perhitungan Porositas Densitas

Variabel	Volume di Udara (cm ³)	Volume di Air (cm ³)	Selisih Volume (cm ³)	Porositas (%)
As-received	0.7271	0.6165	0.1106	15.211
1	0.6464	0.542	0.1044	16.150
5	0.4983	0.432	0.0663	13.305
10	0.6027	0.528	0.0747	12.394

$$\% \text{Porositas} = \frac{\text{Selisih Volume}}{\text{Volume di Udara}} \times 100\%$$

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik-adik tercinta, Bapak Dodi Jufri, Ritta Listriati, Muhammad Ihsan Ridho, serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi.
3. Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng. dan Hariyati Purwaningsih S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
6. Dian Mughni Felicia ST., M.Sc. selaku dosen wali yang sangat mengayomi selama penulis menjalani pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
7. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Sahabat partner terbaik penulis Panji Harga Susila yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Sahabat terbaik penulis yaitu Para Sayap yang beranggotakan Gentong, Aul, Dio, Dony, Gale, Daru, Andika, Kemplo, Panji, Didit, Reggy, Ikiw, dan Yudha yang telah memberikan semangat dan energi positif selama penulis menjadi mahasiswa di JTMM FTI-ITS.

10. Sahabat seperantauan terbaik, Andika, Angga, dan Anthony.
11. Sahabat lepakers terbaik, Rio, Wicak, Segara, Rianda, Angga, dan Anthony.
12. Aslab korosi dan analisa kegagalan 16/17 yang memberikan semangat dan ilmu kepada penulis.
13. Teman-teman Kesma 15/16 yang selalu memberikan cerita dan pembelajaran kepada penulis.
14. Teman-teman seperjuangan MT15 yang memberikan banyak cerita dalam kehidupan penulis.
15. Pinka Nurrachmamilia yang memberikan semangat dan motivasi di masa-masa terakhir penelitian ini.
16. Dan Seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.
17. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Tasikmalaya pada tanggal 20 September 1995. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Dodi Jufri dan Ritta Listriati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Islam Al-Barkah Batam, SMPN 11 Batam, dan SMAN 1 Batam. Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Jurusan

Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh nopember Surabaya.

Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi, pelatihan, dan seminar. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2014/2015 dan Wakil Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS 2015/2016. Selain itu penulis sempat aktif sebagai Asisten Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. McDermott Indonesia Batam Fabrication pada bulan Juli-Agustus 2016. Selama kerja praktek penulis mendalami topik terkait “Studi Aplikasi Pengendalian korosi Menggunakan Teknik Pelapisan dengan Metode Pengecatan pada Yamal LNG di PT. McDermott Indonesia”.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam bidang Metalurgi Manufaktur berjudul “Pengaruh *Thermal Cycling* Terhadap Ketahanan Adhesi dan Abrasif Pada Pelapisan SS 304 Dengan NiCrSiB Metode *Flame Spray and Fused*”.

Email: ridhooazhari@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)