

ANALISIS KUALITAS HASIL *REPAIR WELDING* TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS PADA *CAST WHEEL* ALUMINIUM DENGAN METODE PENGELASAN OKSI-ASETILIN

Nur Chafiedz, Budi Harjanto, & Suharno

Prodi. Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS
Kampus UNS Pabelan, Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta, Tlp/Fax 0271 718419
email : Nur.chafiedz@gmail.com

ABSTRACT

The purposes of this research are: (1) To know microstructure oxy- acetylene welded joints in aluminium cast wheel.,(2) To know hardness aluminium cast wheel before and after oxy-acetylene welding.,(3) To know the impact strength in aluminium cast wheel before and after oxy-acetylene welding

From the research, we can conclude that the chemical composition on aluminium cast wheel including alloy Aluminium Silicon, because the element Si alloy is the largest, ie 7.38% Si. Microstructure on base metal granules the spread equally on the surface of Al. Specimen hardness value raw material higher than oxy-acetylene welding specimens. The average value of raw material hardness results 57.58 BHN while the average value of oxy-acetylene welding results 54.80 BHN. Average hardness oxy-acetylene welding specimens in the HAZ area 38.69 BHN. The average value of raw material impact results 0,12 J/mm² while the average value of oxy-acetylene welding results 0,085 J/mm².

Keywords: *oxy-acetylene welding, aluminium cast wheel, physical and mechanical properties.*

A. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi semakin berkembang dengan pesat, meliputi hampir semua aspek kehidupan manusia. Salah satu bidang yang ikut berkembang dengan pesat adalah bidang industri, dalam hal ini mencakup alat-alat atau teknologi yang di gunakan untuk menghasilkan produk produk industri tersebut. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi juga berpengaruh terhadap bidang industri otomotif yang bergerak dalam pembuatan spare part kendaraan bermotor. *Spare part* kendaraan bermotor ini diantaranya velg, jalu stang, kunci kontak, gir depan, gir belakang dan lain sebagainya. Dalam pembuatan berbagai macam *spare part* tersebut bahan baku utama yang di gunakan adalah aluminium, dimana dalam penggunaannya disesuaikan dengan jenis

penggunaan dan fungsi aluminium dalam *spare part* tersebut.

Aluminium adalah salah satu logam non ferro yang paling banyak digunakan. Untuk mendapatkan tambahan terhadap kekuatan mekaniknya aluminium dapat di padukan dengan Cu, Mg, Si, Mn, Ni dan sebagainya. aluminium paduan dapat di peroleh dengan cara pengecoran. Hal ini memberikan sifat-sifat baiknya seperti berat jenisnya yang ringan, tahan korosi, koefisien muai rendah, konduktor panas dan konduktivitas listrik yang baik. Paduan aluminium dengan unsur Silikon (Si) dan Tembaga (Cu) sebagai paduan elemen utama merupakan jenis paduan aluminium yang sering digunakan. Hal ini dikarenakan sifat mampu cor dari paduan ini tergolong baik, jenis paduan ini banyak dipakai pada industri otomotif. Salah satu contohnya adalah untuk pembuatan velg pada mobil.

Velg merupakan salah satu komponen penyusun dari kendaraan bermotor roda empat yang berfungsi sebagai roda dan penambah nilai keindahan pada kendaraan roda empat. Bentuk velg yang bervariasi ini didapatkan dari proses pengecoran dengan metode *gravity*, *tilting* ataupun *low pressure die casting*. Dalam proses pengecoran, segala macam bentuk cacat sangatlah dihindari karena akan mengurangi kualitas benda coran dan menurunkan efektivitas dari proses produksi

Velg mobil merupakan bagian dari mobil yang berfungsi sangat vital sebagai penunjang ban roda pada kendaraan. Ada beberapa faktor yang sering menyebabkan velg mobil menjadi rusak. Biasanya penyebab kerusakan pada velg dikarenakan kurangnya tekanan angin pada ban. Pada saat melewati jalan yang rusak atau berlubang velg menerima beban atau gaya impak yang mengakibatkan velg retak pada bagian tertentu. Untuk mencegah hal ini perlu pergantian velg jika kondisinya sudah cukup parah. Namun jika memungkinkan, retak yang terjadi dapat dilakukan pengelasan ulang atau *repair welding* untuk menghemat biaya.

Penggunaan las pada velg aluminium memungkinkan sejauh kekuatan sambungan las tersebut mendekati kekuatan velg utuh. Ada beberapa jenis pengelasan diantaranya las oksidasi-asetilin. Las oksidasi-asetilin menggunakan proses pengelasan secara manual dimana permukaan yang akan disambung mengalami pemanasan sampai mencair oleh nyala (*flame*) gas asetilin (yaitu pembakaran C_2H_2 dengan O_2) dengan atau tanpa logam pengisi, proses penyambungan tanpa penekanan. Pengelasan tersebut dapat digunakan dalam pengelasan berbahan aluminium bila syarat dan metode terpenuhi.

Untuk membandingkan kualitas antara velg utuh dengan velg yang sudah dilas maka perlu dilakukan pengujian. Untuk mengetahui sifat fisis suatu logam dilakukan pengujian antara lain uji

komposisi kimia, uji struktur makro dan uji struktur mikro. Sedangkan untuk mengetahui sifat – sifat mekanis suatu logam dapat dilakukan dengan uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compressed test*), uji bengkok (*bending test*), uji pukul (*impact test*), uji puntir (*torsion test*), uji lelah (*fatigue test*) dan uji kekerasan (*hardness test*).

Penelitian dilaksanakan dan mengarah pada tujuan yang sebenarnya, tujuan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui struktur mikro sambungan las oksidasi-asetilin pada *cast wheel* Aluminium.
2. Mengetahui tingkat kekerasan *cast wheel* Aluminium sebelum dan sesudah dilakukan pengelasan oksidasi-asetilin.
3. Mengetahui kekuatan impak pada *cast wheel* Aluminium sebelum dan sesudah dilakukan pengelasan oksidasi-asetilin.

B. DASAR TEORI Aluminium

Aluminium adalah paduan logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Paduan Aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga bagian yaitu:

- a. Berdasarkan pembuatan, klasifikasi paduan cor dan paduan tempa
- b. Berdasarkan perlakuan panas
- c. Berdasarkan unsur – unsur paduan

Berdasarkan klasifikasinya Aluminium dibagi dalam tujuh jenis yaitu:

- a. **Jenis Al – murni (seri 1000)**
Jenis ini adalah Aluminium dengan kemurnian antara 99% s/d 99,9%, Aluminium dalam seri ini disamping sifatnya baik dan tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang dapat memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu las dan mampu potong, hal yang kurang menguntungkan adalah dari segi kekuatannya yang rendah.

- b. Jenis paduan Al – Cu (seri 2000)**
 Jenis paduan Al – Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan, dengan melalui pengelasan endap atau penyepuhan sifat mekanik. Paduan ini dapat menyamai sifat – sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosi rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya, sifat mampu las nya kurang baik. Paduan ini biasa digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan pada konstruksi pesawat terbang.
- c. Jenis paduan Al – Mn (seri 3000)**
 Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan sehingga menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin proses pembuatannya dari segi kekuatan jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Aluminium murni.
- d. Jenis paduan Al – Si (seri 4000)**
 Paduan Al – Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka panduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan logam las dalam pengelasan paduan Aluminium baik cor maupun paduan tempa.
- e. Paduan jenis AL – Mg (seri 5000)**
 Jenis ini tidak termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu las nya. Paduan Al – Mg banyak digunakan tidak hanya dalam kontruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair. Karena Al – Mg mempunyai tahan korosi dan ringan, maka dapat digunakan untuk

pekerjaan konstruksi terutama untuk daerah yang berkorosif.

f. Paduan jenis AL – Mg – Si (seri 6000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup baik. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadi pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

g. Paduan jenis Al – Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Paduan Al – Zn – Mg saat ini mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik dari pada pasduan dasar Al – Zn.

Las Oksi Asetilin

Pengelasan dengan oksi-asetilin adalah proses pengelasan secara manual dengan pemanasan permukaan logam yang akan dilas atau disambung sampai mencair dengan percampuran 2 jenis gas sebagai pembentuk nyala api dan sumber panas dengan atau tanpa logam pengisi. Proses penyambungan dapat dilakukan dengan tekanan (ditekan) sangat tinggi sehingga dapat mencairkan logam. Dalam proses ini, gas yang digunakan adalah campuran dari gas oksigen (O_2) dengan gas asetilin (C_2H_2) sebagai gas bahan bakar. Pencampuran dari gas oksigen (O_2) dengan gas asetilin (C_2H_2) apabila dibakar bersama dapat menghasilkan nyala dengan suhu sekitar 2926 hingga 3037⁰ C. Bahan yang dapat dilas oksi-asetilin sebagian besar adalah bahan ferrous dan non ferrous. Seperti misalnya: baja karbon, besi tuang, tembaga, paduan nikel, Aluminium, dan paduan seng. Bahan yang tidak cocok untuk dilas dengan oksi-asetilin adalah bahan yang tahan panas seperti: niobium, tantalum, molybdenum, dan tungsten, serta

metal yang reaktif seperti titanium dan zirconium.

daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk dan peleburan logam terjadi karena panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda dengan logam induk.

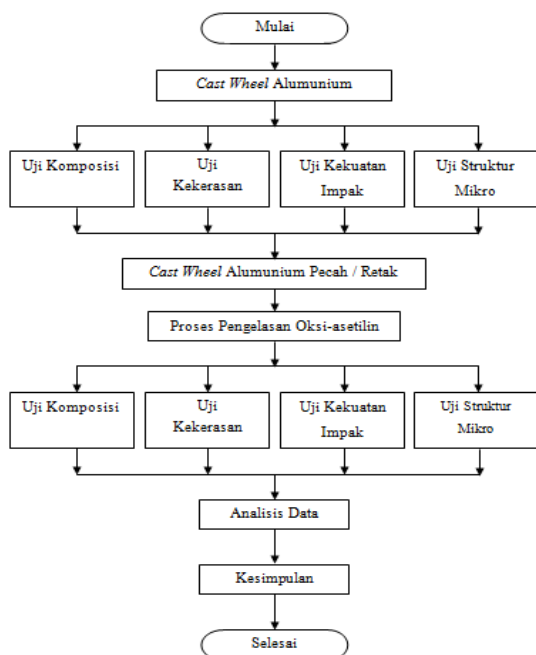
Kualitas Hasil Pengelasan

Di dalam pengelasan, tujuan dari pengujian adalah untuk menjamin kualitas mutu hasil pengelasan dan kepercayaan terhadap konstruksi las. Penilaian kualitas hasil pengelasan dapat diketahui dengan cara memberikan gaya atau beban pada hasil lasan tersebut. Gaya atau beban yang diberikan dapat berupa pengujian berupa sifat-sifat sambungan las tersebut: kekuatan, keuletan, ketangguhan, ketahanan korosi, penampakan, kebebasan bocoran, kesambungan dan lain-lain.

C. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, yang berusaha mengkaji hasil penelitian yang paling mendekati *cast wheel* aluminium .

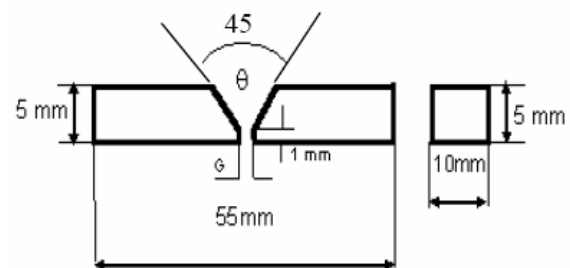
Skema Metode Penelitian



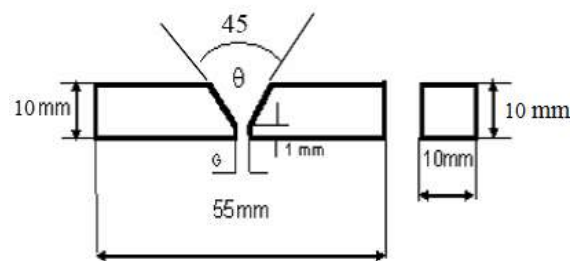
Gambar 1. Skema Metode Penelitian

Pada penelitian menggunakan bahan yang akan digunakan adalah *cast wheel* berbahan aluminium. Las OAW menggunakan ER 4043, diameter 2 mm, tekanan kerja oxygen 0,5 kg/cm² dan asetilin 0,5 kg/cm², nyala api karburasi, kecepatan pengelasan 8-10 cm/menit, minimum panjang manik-manik per elektroda 80 mm.. Kampuh yang digunakan jenis kampuh V terbuka, jarak celah plat 1 mm. tinggi akar 1 mm dan sudut kampuh 45 derajat. Arah pengelasan kekanan dan Posisi pengelasan dibawah tangan posisi datar.

Dimensi benda kerja



Gambar 2. Benda Uji Kekerasan



Gambar 3. Benda Uji Impak

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Uji Komposisi

Dari pelaksanaan pengujian komposisi kimia yang telah dilaksanakan, didapat data-data seperti pada tabel berikut ini:

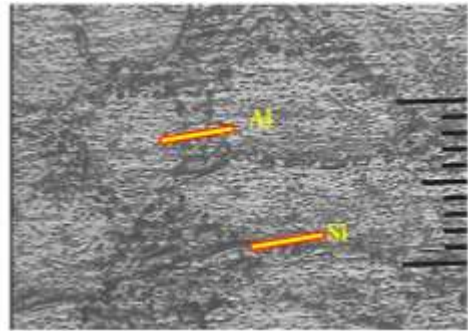
Table 1. Hasil pengujian komposisi kimia *Raw Material* dan hasil pengelasan Oksi asetilin.

Unsur	Metode Pengelasan	
	TANPA LAS(%)	GAS (%)
Al	91,36	91,43
Si	7,38	7,30
Fe	0,803	0,803
Cu	0,0578	0,0662
Mn	0,0263	0,0267
Mg	<0,0500	<0,0500
Cr	<0,0150	<0,0150
Ni	0,0453	0,0465
Zn	<0,0100	<0,0100
Sn	0,107	0,117
Ti	<0,0100	0,0543
Pb	<0,0300	0,0305
Be	<0,0001	0,0001
Ca	*0,0236	*0,0160
Sr	0,0051	0,0018
V	0,0234	0,0130
Zr	*0,0728	0,0275

Berdasarkan hasil dari pengujian komposisi pada *raw material* dapat disimpulkan *raw material* dikelompokkan kedalam paduan aluminium AA445.2 memiliki paduan Al-Si karena unsur Si merupakan paduan terbesar. mempunyai komposisi kimia 91.36% Al, 7.38% Si, 0.803%Fe, 0,0578% Cu, 0,0263% Mn, <0,0500% Mg dan 0.107% Sn. Pada hasil pengelasan menggunakan las oksi-asetilin, dengan menggunakan elektroda ER 4043 memiliki komposisi yang sama dengan komposisi *raw material*.

Uji Struktur mikro

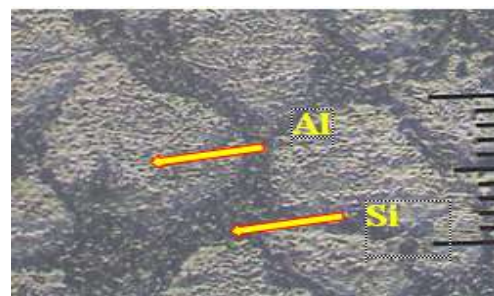
Dari pelaksanaan pengujian struktur mikro yang telah dilaksanakan menggunakan *Olympus Metallurgical Microscope*.



Gambar 4. Foto Struktur Mikro *Raw Material* Perbesaran 200x



Gambar 5. Foto Struktur Mikro Daerah Las Perbesaran 200x



Gambar 6. Foto Struktur Mikro Daerah HAZ Perbesaran 200x

Pada Gambar 4. *raw material* unsur Si tersebar lebih merata dibanding pada hasil las oksi-asetilin. Pada *raw material* unsur Si tersebar merata pada permukaan aluminium, dan pengaruh penyebaran ini menyebabkan kekerasan permukaan logam lebih tinggi.

Struktur mikro pada HAZ dan daerah las pada material hasil pengelasan oksi-asetilin terlihat berupa butiran unsur Si yang lebih kecil dan bertebaran pada matrik Al secara merata. Pada daerah HAZ butiran Si lebih besar dan tersebar tidak merata pada Al.

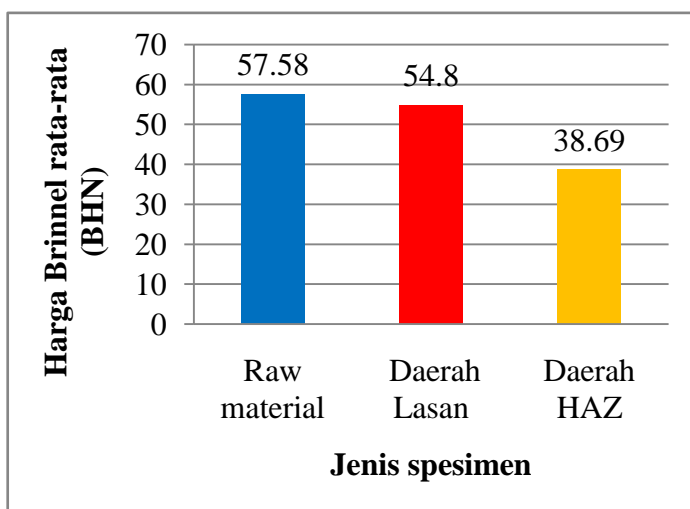
Uji Kekerasan

Dari pelaksanaan pengujian komposisi kimia yang telah dilaksanakan menggunakan Hardness Brinell menggunakan alat Electronical Brinell Hardness Tester HB-3000C menggunakan indentor D: 2,5 mm dengan beban 62,5 kg. Pengujian kekerasan menghasilkan data dari spesimen *raw material* dan spesimen hasil pengelasan oksasi asetilin, didapat data-data seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan *Raw Material* dan Spesimen Las Oksasi-Asetilin

Jenis spesimen	No. Spes	Harga Brinell	Harga rata-rata Brinell
<i>Raw Material</i>	1	55,878	57,58
	2	58,976	
	3	57,903	
Pada Daerah Lasan	1	54,728	54,80
	2	53,796	
	3	55,878	
Pada Daerah HAZ	1	40,219	38,69
	2	37,117	
	3	38,744	

Jika digambarkan pada histogram hasilnya akan tampak seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Histogram Hasil Uji Kekerasan

Dari histogram hasil uji kekerasan *Brinell* pada Gambar 7. tampak jelas perbedaan nilai kekerasan rata-rata pada spesimen *raw material* dan pengelasan oksasi-asetilin. Nilai kekerasan spesimen *raw material* lebih tinggi dibandingkan spesimen hasil las oksasi-asetilin. Nilai rata-rata kekerasan *raw material* yaitu 57,58 BHN sedangkan nilai rata-rata hasil las oksasi-asetilin pada daerah HAZ yaitu 38,69 BHN.

Perbedaan harga kekerasan ini tak lepas dari pengaruh komposisi kimia. Pada logam hasil pengelasan dengan kandungan Si lebih besar dapat meningkatkan kekerasannya. Kekerasan juga dapat dipengaruhi oleh besarnya butiran yang terbentuk setelah proses pendinginan. Semakin kecil butir dan tersebar merata maka harga kekerasannya semakin tinggi. Namun sebaliknya jika butiran yang terbentuk besar dan tersusun tidak teratur maka harga kekerasannya akan menurun.

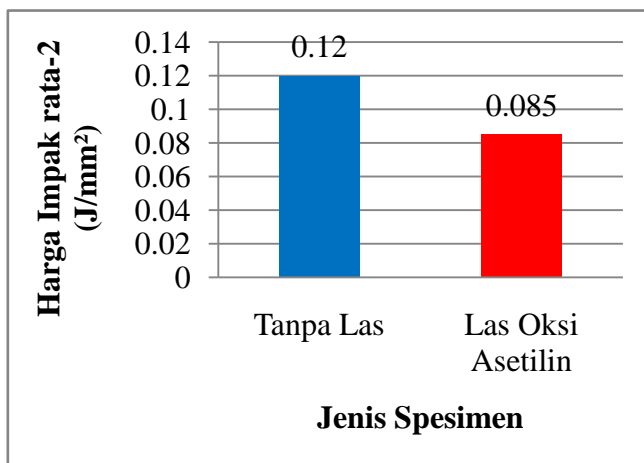
Uji Impak

Pengujian impak ini menggunakan metode *Charpy*, dengan panjang lengan 0,83 m, berat pendulum 9,5 kg, sudut awal (α) : 90 ° dan luas spesimen : 80 mm². bentuk dan ukuran specimen menggunakan standar ASTM E 23.

Tabel 3. Hasil Uji Impak *Raw Material* dan Spesimen Las Oksasi-Asetilin

Jenis spesimen	No. Spes	Harga Impak (J/mm ²)	Harga rata-rata Impak (J/mm ²)
<i>Raw Material</i>	1	0,12	0,12
	2	0,12	
	3	0,12	
Las Oksasi-Asetilin	1	0,0687	0,085
	2	0,1025	
	3	0,0862	

Jika digambarkan dalam histogram hasilnya akan tampak seperti pada gambar 8 berikut :



Gambar 8. Histogram Perbandingan Harga Impak Rata-rata

Dari histogram hasil pengujian impact tampak jelas perbedaan harga impact rata-rata pada spesimen *raw material* dengan spesimen las oksidasi. Hasil rata-rata uji impact pada *raw material* yaitu: 0,12 J/mm² sedangkan hasil spesimen las oksidasi harga rata-rata impact yaitu: 0,085 J/mm². Perbedaan harga impact ini tak lepas dari pengaruh oleh besaran butiran yang terbentuk setelah proses pendinginan. Semakin kecil butir yang ada maka harga impact semakin tinggi (lebih tangguh), namun jika butir yang terbentuk besar maka ketangguhan dan kekuatan impactnya akan menurun.

E. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dengan mengacu pada perumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia pada *cast wheel* Aluminium di temukan ada dua unsur yang dominan berupa aluminium (Al) = 91,36% dan silicon (Si) = 7,38%. Sedang unsur lain yang lebih sedikit (<1%), yaitu besi (Fe) sebesar 0,803%, stannum/timah (Sn) sebesar 0,107% dan juga unsur lain

yang sangat kecil (<0,1%), seperti Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, Ti, Pb, Be, Ca, Sr, V, Zr. Sehingga dari unsur yang ada material ini termasuk logam aluminium paduan silicon AlSi, karena unsur silicon (Si) merupakan paduan terbesar, yakni 7,38%.

2. Pada struktur mikro pada logam induk butiran-butiran Si tersebar merata pada permukaan Al. Pada daerah HAZ struktur mikro las oksidasi Si tersebar merata pada permukaan Al.
3. Nilai kekerasan spesimen *raw materials* lebih tinggi dibandingkan spesimen hasil las oksidasi. Nilai rata-rata kekerasan *raw material* yaitu 57,58 BHN sedangkan nilai rata-rata hasil las oksidasi 54,80 BHN. Untuk nilai rata-rata spesimen hasil las oksidasi pada daerah HAZ yaitu 38,69 BHN. Perbedaan harga kekerasan ini tak lepas dari pengaruh komposisi kimia. Pada logam hasil pengelasan dengan kandungan Si lebih besar dapat meningkatkan kekerasannya. Kekerasan juga dapat dipengaruhi oleh besarnya butiran yang terbentuk setelah proses pendinginan. Semakin kecil butir dan tersebar merata maka harga kekerasannya semakin tinggi. Namun sebaliknya jika butir yang terbentuk besar dan tersusun tidak teratur maka harga kekerasannya akan menurun
4. Hasil rata-rata uji impact pada *raw material* yaitu: 0,12 J/mm² sedangkan hasil spesimen las oksidasi harga rata-rata impact yaitu: 0,085 J/mm². Perbedaan harga impact ini tak lepas dari pengaruh oleh besaran butiran yang terbentuk setelah proses pendinginan. Semakin kecil butir yang ada maka harga impact semakin tinggi (lebih tangguh), namun jika butir yang terbentuk besar maka ketangguhan dan kekuatan impactnya akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambiyar., Arwizet., Erizon, N., Purwantono., Pinat, T. (2008). *Teknik Pembentukan Pelat Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- ASM International (2012), *Aluminium and aluminium alloy*.
- Daryanto. (2012). *Teknik Las*. Bandung: Alfabeta.
- Haryanto. (2010). *Penelitian Kekuatan Sambungan Las pada Velg Mobil Berbahan Aluminium Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Dengan Metode Pengelasan TIG*. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- H. Ates, M. E. Caki, A. Kurt, M. Turker & I. Uygur (2013). The microstructure and mechanical properties of joints of technical-grade aluminium gas welded with oxygen-hydrogen flame. *Welding International Journal*, (4) 52-54.
- Sudjana, H. (2008). *Teknik Pengecoran Logam Jilid 3*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sunaryo, H. (2008a). *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Sunaryo, H. (2008b). *Teknik Pengelasan Kapal Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Suratman, M. (2011). *Teknik Mengelas Asetilin, Brazing, dan Las Busur Listrik*. Bandung: Pustaka Grafika.
- Surono, B. & Novri, M. (2011). Perubahan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Al-Mg-Si Akibat Variasi Temperatur Pemanasan. *Bina Teknika*, 7 (2), 93-105.
- Tim Fakultas Teknik UNY. (2011). *Diktat Las MIG Teknik Pengelasan*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wibowo, H. (2011). *Pengujian Las Merusak (DT)*. Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Widharto, S. (2007). *Menuju Juru Las Tingkat Dunia*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Winarno, A. (2005). *Studi Mutu Sambungan Las Oxy Acetylene dan MIG pada Paduan Aluminium 5052*. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Wirjosumarto, H., Okumura, T. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Yunus, D Asy'ari. (2008). *Struktur dan Sifat Material* . Jakarta: Universitas Darma Persada.