

Pengaruh Arus Proses Las Tig Terhadap Kekuatan Impak dan Ketahanan Korosi Aluminium Paduan

Wartono, Radifan

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta
Korespondensi : wartono_sttnas@yahoo.com

ABSTRAK

Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah pengelasan dengan memakai busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap terbuat dari tungsten. Sedang sebagai bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari pistol las (*welding gun*). Untuk mencegah oksidasi digunakan gas mulia dan CO₂ sebagai gas pelindung. Pada penggunaan las TIG ini parameter pengelasan yang digunakan adalah besar arus pengelasan. Besar arus yang digunakan adalah 80 A, 90 A dan 100 A. Karena parameter yang digunakan sangat berpengaruh pada sifat mekanik logam khususnya pada logam hasil lasan. Logam yang akan dilas adalah aluminium paduan yang berukuran 300 mm x 100 mm x 3 mm dapat disambung dengan menggunakan logam pengisi (*filler*). Penggunaan logam pengisi pada pengelasan aluminium didasarkan pertimbangan, antara lain : pencegahan retak, tegangan tarik atau geser las, dan keuletan las. Logam pengisi pada aluminium paduan ini harus memiliki sekurangnya 70% filler ER 5356 (Al-5%Mg), karena aluminium paduan ini sensitif terhadap retak jika komposisi logam las mendekati logam induknya. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan aluminium ini mengandung beberapa unsur, yaitu Al-Cr-Fe-Si. Pengujian struktur mikro pada raw material dan weld metal 100 A terlihat butiran Cr-Si yang besar, berbeda dengan HAZ 90 A dan weld metal 80 A dan 90 A terlihat butiran Cr-Si yang kecil. Sedangkan pada pengujian korosi menunjukkan korosi terbaik terletak pada weld metal 90 A dan untuk pengujian impact yang terbaik terletak pada weld metal 100 A.

Kata kunci : Pengelasan TIG, Arus Pengelasan, Aluminium Paduan, Kekuatan Impak, Korosi.

ABSTRACT

Welding TIG (Tungsten Inert Gas) is welding using a flame arc produced by a fixed electrode made of tungsten. As for enhancers made from the same material or similar to the welded material and separated from the welding gun (welding gun). To prevent oxidation, noble gases and CO₂ are used as protective gases. In the use of TIG welding the welding parameters used are large welding currents. The current used is 80 A, 90 A and 100 A. Because the parameters used greatly influence the mechanical properties of metals, especially on welded metal. Metals to be welded are aluminum alloys measuring 300 mm x 100 mm x 3 mm can be connected using filler metal. The use of filler metal in aluminum welding is based on considerations, including: crack prevention, tensile stress or weld shear, and weld tenacity. The filler metal in this aluminum alloy must have at least 70% filler ER 5356 (Al-5% Mg), because this aluminum alloy is sensitive to cracks if the composition of the weld metal approaches the parent metal. The results of the chemical composition test show that aluminum contains several elements, namely Al-Cr-Fe-Si. Testing of microstructure in raw material and weld metal 100 A showed large Cr-Si grains, in contrast to HAZ 90 A and weld metal 80 A and 90 A small Cr-Si granules were seen. While the corrosion test showed the best corrosion was located on the weld metal 90 A and for impact testing the best was located at weld metal 100 A.

Keywords: TIG Welding, Welding Flow, Aluminum Alloys, Impact Strength, Corrosion.

1. PENDAHULUAN (10 PT)

Pada waktu ini teknik las telah digunakan secara luas dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan menggunakan teknik penyambungan ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhan menjadi lebih murah.

Berdasarkan definisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas [17]. Teknologi pengelasan sering digunakan pada industri di bidang pemesinan. Dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, beragam metode pengelasan yang digunakan semakin berkembang dalam menghasilkan suatu produk las yang berkualitas. Penggunaan metode pengelasan yang berkembang saat ini dalam industri yaitu GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Las GTAW (*Gas Tungsten Arc*

Welding) atau disebut las TIG (*Tungsten Inert Gas*) adalah pengelasan dengan memakai busur nyala yang dihasilkan oleh elektroda tetap yang terbuat dari tungsten. Sedang sebagai bahan penambah terbuat dari bahan yang sama atau sejenis dengan bahan yang dilas dan terpisah dari pistol las (*welding gun*) [11].

Pengelasan jenis las TIG ini, logam pengisi dimasukan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logaam induk. Tetapi untuk mengelas pelat yang sangat tipis kadang-kadang tidak diperhatikan logam pengisi. Las TIG dilaksanakan dengan tangan atau secara otomatis dengan mengotomatisasikan cara pengumpulan logam pengisi. Las TIG atau biasa disebut las *wolfram* ini menggunakan batang *wolfram* sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa turut mencair, yang menggunakan gas mulia sebagai gas pelindung. Penggunaan las TIG mempunyai beberapa keuntungan yaitu : [11]

1. Menghasilkan sambungan las bermutu tinggi.
2. Bebas dari terbentuknya percikan las.
3. Dapat digunakan dengan atau tanpa bahan tambahan.
4. Dapat digunakan pada hampir semua jenis logam termasuk pengelasan logam berbeda.

Penyambungan aluminium adalah salah satu pengaplikasian pada pengelasan TIG. Aluminium dan paduannya merupakan logam yang banyak digunakan di bidang teknik karena memiliki berbagai keunggulan antara lain : ringan, mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik, kekuatan tarik relatif tinggi, tahan korosi dan sifat mekaniknya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin atau perlakuan panas, serta mempunyai sifat mampu las (*weldability*) yang bervariasi tergantung pada jenis paduannya (Mandal, 2005). Kelebihan paduan aluminium dibandingkan dengan logam lainnya menyebabkan banyak digunakan di bidang struktur dan pemesinan, seperti pesawat terbang, kapal, kendaraan serta industri otomotif.

Penelitian ini akan menggunakan aluminium paduan Al-Mg-Si seri 6xxx serta logam pengisi (*filler*) seri ER 5356 dengan proses pengelasan TIG. Adapun kajian yang akan dilakukan dari penelitian ini adalah kajian sifat-sifat mekanik (struktur mikro, uji komposisi, uji impact) dan pengujian ketahanan korosi. Pengelasan TIG pada aluminium ini menggunakan variasi besar arus pengelasan sebesar 80 A, 90 A dan 100 A.

2. METODE PENELITIAN

Pengelasan menggunakan mesin las TIG merk RYLON 315A. AC/DC milik Laboratorium Inlastek Surakarta. Bahan penelitian pengelasan menggunakan plat aluminium paduan. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan alat di POLMAN Ceper Klaten Jawa Tengah. Selanjutnya spesimen dipotong menjadi 1 bagian dengan gergaji potong dan selanjutnya dilakukan pengamplasan, pemolesan, dan etsa untuk selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro (mikroskop optik). Pengujian korosi (metode elektro kimia) dengan alat milik Laboratorium Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta. Pengujian *impact* (metode *charpy*) dengan alat milik Laboratorium Pengujian bahan D3-UGM Yogyakarta.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada spesimen aluminium paduan.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

Unsur	Kadar (%)	
	<i>Raw Material</i>	<i>Weld Metal</i>
Al	95,67	96,11
Si	0,34	0,32
Fe	0,35	0,67
Cu	0,16	0,16
Mn	<0,02	0,02
Mg	0,07	1,20
Cr	*3,19	*1,07
Ni	<0,02	0,02
Zn	0,18	0,43
Total	100	100

Sumber : POLMAN Ceper, Klaten.

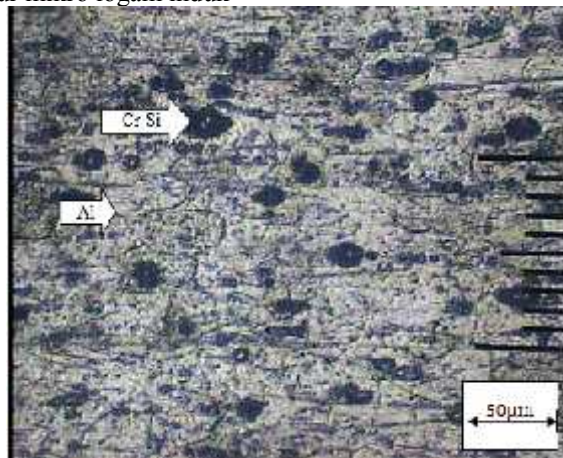
Uji komposisi ini dilakukan pada 2 posisi tembak yaitu pada *raw material* dan daerah las (*weld metal*), pengujian dilakukan untuk mengetahui berapa presentase unsur yang terkandung dalam plat aluminium paduan yang belum terpengaruh pengelasan (*raw material*) maupun yang telah terpengaruh oleh pengelasan sehingga dapat diketahui perbandingan kadar kandungan unsur kimia dari kedua benda uji tersebut.

Tabel 1. menunjukkan bahwa *raw material* mengandung unsur utama : Cr sebesar 3,19%, Fe sebesar 0,35% dan Si sebesar 0,34%. Berdasarkan hasil uji komposisi *raw material* termasuk dalam kategori paduan Al-Cr-Fe-Si. Sedangkan pada daerah las (*weld metal*) terdapat kandungan unsur Cr sebesar 1,07%, Mg sebesar 1,20%, Fe sebesar 0,67% dan Si sebesar 0,32%. Pada daerah las kandungan Mg terlihat lebih besar dari pada *raw material* dikarenakan pada daerah las ada penambahan *filler* ER 5356 dimana kandungan *filler* tersebut mempunyai unsur Mg 4.5% - 5.5%.

3.2. Analisis Hasil Pengujian Struktur mikro

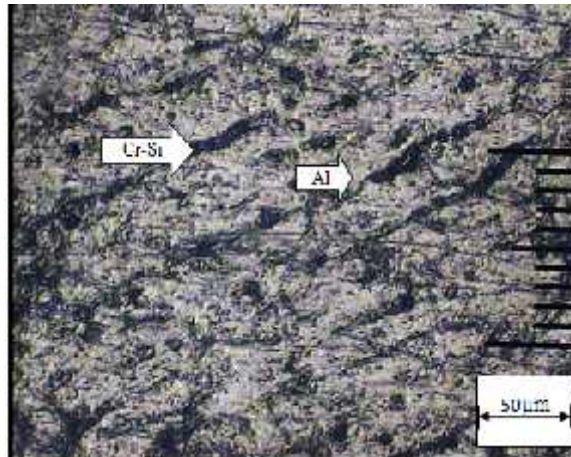
Proses pengelasan yang dilakukan pada benda uji plat aluminium paduan akan menyebabkan terjadinya sifat pemanasan dan pendinginan yang dapat merubah struktur mikro dari suatu logam. Pada tampilan struktur mikro, maka struktur mikro yang terbentuk pada daerah *weld metal*, HAZ dan *raw material* dapat terlihat jelas perbedaan satu dengan lainnya, hasil uji struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 1–5. Gambar dari benda uji hasil pemotretan dengan menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 100 kali.

- a. Hasil pengujian struktur mikro logam induk



Gambar 1. Daerah logam induk *raw material* 100 X

- b. Hasil pengujian struktur mikro daerah HAZ



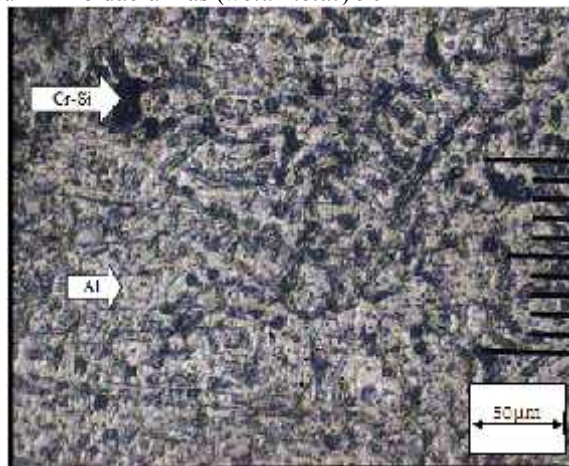
Gambar 2. Foto Struktur Mikro Daerah HAZ 90 A 100X

c. Hasil pengujian struktur mikro daerah las (*weld metal*) 80 A



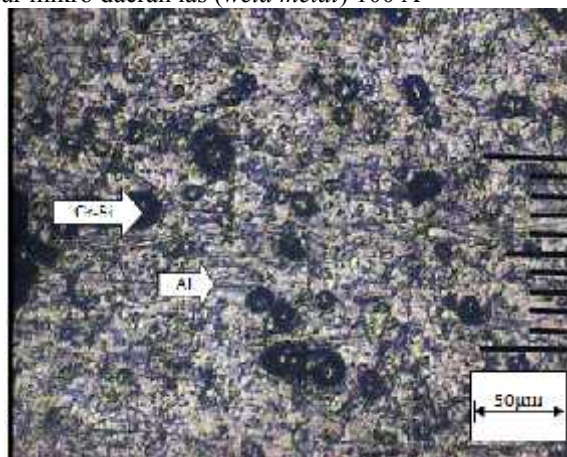
Gambar 3. Foto Struktur Mikro Daerah Las (*weld metal*) 80 A 100 X

d. Hasil pengujian struktur mikro daerah las (*weld metal*) 90 A



Gambar 4. Foto Struktur Mikro Daerah Las (*weld metal*) 90 A 100 X

e. Hasil pengujian struktur mikro daerah las (*weld metal*) 100 A



Gambar 5. Foto Struktur Mikro Daerah Las (*weld metal*) 100 A 100 X

Keterangan :

Al : Aluminium

Cr-Si : Chromium-Silikon

HAZ : *Heat Affected Zone*

Pengelasan dengan menggunakan las *Tungsten Inert Gas* (TIG) dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A akan menentukan struktur mikro yang terbentuk, hal ini dikarenakan adanya pengaruh besar kecilnya kekuatan arus, jenis elektroda, besar sudut kampuh, dan prosedur pengelasan. Dari hasil foto struktur mikro apabila diamati maka akan mempunyai bentuk, ukuran, dan formasi struktur yang hampir sama.

Struktur butiran aluminium paduan semakin kecil dan rapat seiring bertambahnya *chromium* sebesar 3,19% dan *silicon* 0,34%. Spesimen yang memiliki struktur butiran kecil memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih tinggi bila dibandingkan spesimen dengan struktur butiran yang besar.

Struktur mikro yang terbentuk dari pengelasan posisi bawah tangan las TIG kampuh 60° pada daerah *raw material* dan *weld metal* variasi arus 100 A terlihat bahwa butiran Cr-Si hanya sedikit yang menyebar dan berbutir besar, berbeda dengan daerah HAZ variasi arus 90 A dan *weld metal* variasi arus 80 A dan 90 A paduan Cr-Si terlihat menyebar, merata, dan berbutir kecil. Perubahan struktur mikro pada proses pengelasan tidak terlepas dari pengaruh panas yang ditimbulkan selama proses pengelasan. Perubahan struktur mikro terjadi pada daerah *fusion line*, daerah ini merupakan daerah pencampuran logam pengisi dan *base metal*.

Perubahan struktur mikro yang terjadi pada variasi arus daerah HAZ dan *weld metal* dipengaruhi oleh *heat input* pada saat proses pengelasan. Daerah HAZ yang terpengaruh panas akan melarutkan endapan partikel kedalam aluminium *dengan* kelarutan yang berbeda-beda untuk setiap titikny. Hal ini mengakibatkan terjadinya pengurangan jumlah endapan partikel sebelum dan sesudah pengelasan. Akibatnya pengaruh panas akan menyebabkan perubahan butir pada daerah tersebut.

3.3. Analisis Hasil Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan mengamati laju korosi pada pengelasan TIG aluminium paduan dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A menggunakan teknik polarisasi metode elektrokimia sel tiga elektroda. Media korosi yang digunakan adalah air laut. Untuk mengetahui nilai kuantitatif dari logam yang mengalami korosi dapat dihitung dengan rumus laju korosi sesuai persamaan [5]

$$R = 0,129 \frac{I_{corr}(EW)}{\rho} \quad (1)$$

Keterangan :

R = Laju korosi (mpy) atau (mm/tahun)

I_{corr} = Rapat arus korosi ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

EW = Berat ekuivalen (gram/ekuivalen)

ρ = Berat jenis (gram/cm^3)

Dicari terlebih dahulu berat ekuivalennya (*Equipment Weight/EW*). Untuk mencari berat ekuivalen digunakan rumus[5]

$$N_{EQ} = \sum \left[\frac{n_i f_i}{\alpha_i} \right] \quad (2)$$

$$EW = N_{EQ} e^{-1} \quad (3)$$

Keterangan :

EW = berat ekuivalen

N_{EQ} = nilai ekuivalen total

f_i = fraksi berat

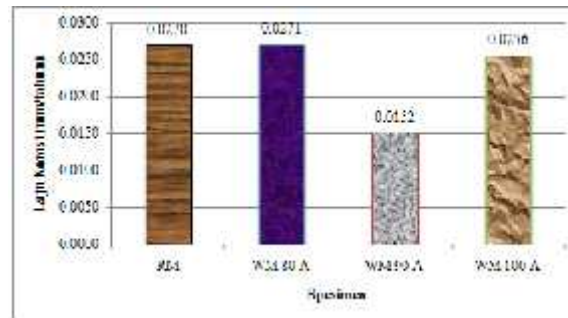
α_i = elektron valensi

n_i = nomor massa atom

Tabel 2. Hasil Pengujian Korosi Spesimen Aluminium Paduan

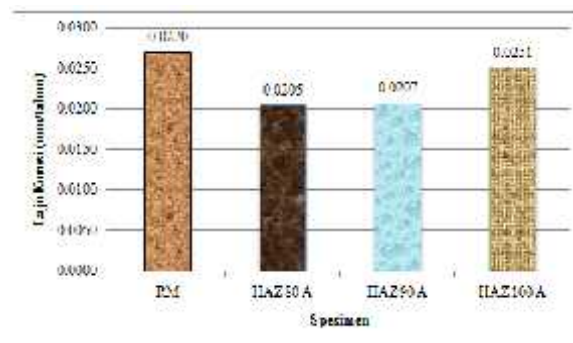
Spesimen	I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Laju korosi (mm/tahun)
Raw material	150,140	0,0270
Weld metal 80 A	150,590	0,0271
HAZ 80 A	189,590	0,0205
Weld metal 90 A	140,870	0,0152
HAZ 90 A	192,090	0,0207
Weld metal 100 A	137,150	0,0256
HAZ 100 A	232,210	0,0251

*Faktor koreksi alat uji sebesar 0,01



Gambar 6. Grafik Laju Korosi raw material dan daerah pengelasan (weld metal)

Dari grafik diatas diperoleh nilai laju korosi raw material 0,0270 mm/tahun, sedangkan nilai laju korosi weld metal 80 A adalah 0,0271 mm/tahun. Hal ini berarti laju korosi di weld metal 80 A lebih cepat dari laju korosi raw material. Nilai laju korosi weld metal 90 A adalah 0,0152 mm/tahun, berarti lebih lambat dari laju korosi raw material dan laju korosi weld metal 80 A. Nilai laju korosi weld metal 100 A adalah 0,0256 mm/tahun, hal ini berarti laju korosi lebih lambat dari laju korosi raw material dan laju korosi weld metal 80 A tetapi lebih cepat dari laju korosi weld metal 90 A. Hasil dari nilai laju korosi pada las variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A diketahui bahwa nilai laju korosi paling lambat terletak pada laju korosi weld metal 90 A yaitu sebesar 0,0152 mm/tahun. Hal ini berarti hasil korosi terbaik terletak pada las variasi arus 90 A yaitu sebesar 0,0152 mm/tahun.



Gambar 7. Grafik Laju Korosi Pada raw material, HAZ 80 A, HAZ 90 A dan HAZ 100 A

Dari grafik diatas diperoleh nilai laju korosi raw material 0,0270 mm/tahun, sedangkan nilai laju korosi daerah HAZ 80 A sebesar 0,0205 mm/tahun. Hal ini berarti laju korosi lebih lambat dari laju korosi raw material. Nilai laju korosi pada daerah HAZ 90 A adalah 0,0207 mm/tahun, berarti laju korosi lebih lambat dari raw material dan lebih cepat dari laju korosi HAZ 80 A. Nilai laju korosi daerah HAZ 100 A adalah 0,0251 mm/tahun, hal ini berarti laju korosi lebih lambat dari laju korosi raw material, tetapi lebih cepat dari laju korosi daerah HAZ 80 A dan laju korosi HAZ 90 A. Hasil dari nilai laju korosi pada daerah HAZ variasi arus 80 A, 90 A dan 100 A diketahui bahwa nilai laju korosi paling lambat terletak pada daerah HAZ 80 A yaitu sebesar 0,0205 mm/tahun. Hal ini berarti hasil laju korosi terbaik pada daerah HAZ variasi arus 80 A yaitu sebesar 0,0205 mm/tahun.

Tabel 3. Tingkat ketahanan korosi berdasarkan harga MPY [5]

Tingkat Ketahanan	Korosi MPY	Konversi ketahanan satuan lain			
		mm/yr	mm/yr	mm/yr	mm/yr
Lean Biasa	< 1	< 0,02	< 25	< 1	< 1
Sangat Baik	1-5	0,02-0,1	25-100	2-10	1-5
Baik	5-20	0,1-0,5	100-500	10-50	5-20
Cukup Baik	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Kurang Baik	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Tidak Dapat Dijaga	200+	5+	5000+	500+	200+

Secara umum laju korosi menurut Fontana dari tabel 3. tingkat ketahanan korosi berdasarkan MPY, maka aluminium paduan Al-Cr-Si jika diuji dengan media larutan air laut ketahanan korosinya luar biasa dan sangat baik.

3.4. Analisis Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode pengujian impak *Charpy*. Standar benda uji mengacu ASTM E 23 *Type A*. Panjang lengan ayun 0,8 meter, dengan berat palu 20 kg. Untuk pengujian spesimen uji *weld* metal dengan variasi arus 80 A, 90 A dan 100A dilakukan sebanyak 2 kali dengan sudut α 151,0°. Nilai impak dari spesimen uji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [3]

$$HI = \frac{E}{A} \tag{4}$$

Dimana :

HI : harga impak (J/mm²)

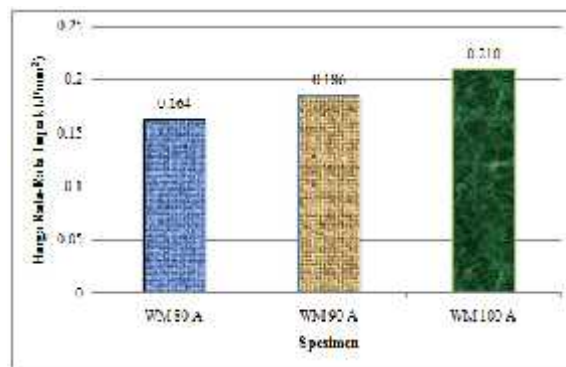
E : energi terserap (J)

A : luas (mm²)

Tabel 4. Hasil Pengujian Impak Spesimen Aluminium Paduan

NO.	Kode Spes. (A)	Sudut α (°)	Energi Tergantung (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Tinggi Impak (J/mm ²)
1	A 80 - 1	151,0	100	117,8	4,6	31,1	0,148
2	A 80 - 2	151,0	300	146,2	6,2	33,8	0,186
3	A 90 - 1	151,0	300	145,8	7,7	35,0	0,220
4	A 90 - 2	151,0	100	146,5	6,5	37,0	0,176
5	A 100 - 1	151,0	300	146,0	7,3	35,1	0,208
6	A 100 - 2	151,0	100	146,0	7,1	34,3	0,207

Berdasarkan tabel 4. hasil pengujian impak di atas menunjukkan nilai rata-rata impak yang tertinggi adalah pada variasi arus 80 A 0.164 J/mm² dan yang paling rendah variasi arus 100 A 0.210 J/mm².



Gambar 8. Grafik Hasil Rata-Rata Pengujian *Impact* Pada Material Aluminium Paduan

Dari data dan grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengujian *impact* pada variasi arus 100 A mempunyai nilai rata-rata ketangguhan (*impact*) tertinggi 0,210 J/mm². Lalu di variasi arus 90 A dengan 0,186 J/mm² dan sampai yang paling rendah pada variasi arus 80 A dengan 0,164 J/mm². Nilai uji ketangguhan ini dapat dihubungkan dengan struktur mikro yang terjadi dan masukan panas yang diterima saat proses pengelasan berlangsung. Struktur mikro pada *weld metal* variasi arus 100 A terlihat banyak Cr-Si berbutir besar yang menyebabkan pada daerah ini mempunyai nilai ketangguhan yang tinggi. Berbeda dengan *weld metal* variasi arus 80 A dan 90 A terlihat banyak Cr-Si berbutir kecil yang menyebabkan daerah ini menjadi getas/mudah patah. Porositas merupakan hal yang juga menjadi penyebab penurunan nilai ketangguhan suatu bahan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil penelitian pengelasan dengan menggunakan las *Tungsten Inert Gas* (TIG) pada aluminium paduan berukuran 300 mm x 100 mm x 3 mm, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian komposisi menunjukkan *raw material* mengandung unsur utama : Cr sebesar 3,19%, Fe sebesar 0,35% dan Si sebesar 0,34%. %. Berdasarkan hasil uji komposisi *raw material* termasuk dalam kategori paduan Al-Cr-Fe-Si.
2. Hasil struktur mikro yang terbentuk dari pengelasan posisi bawah tangan las TIG kampuh 60° pada daerah *raw material* dan *weld metal* variasi arus 100 A terlihat bahwa butiran Cr-Si hanya sedikit yang menyebar dan berbutir besar, berbeda dengan daerah HAZ variasi arus 90 A dan *weld metal* variasi arus 80 A dan 90 A paduan Cr-Si terlihat menyebar, merata dan berbutir kecil.
3. Hasil pengujian laju korosi menunjukkan bahwa laju korosi *weld metal* yang terbaik adalah pada *weld metal* dengan arus 90 A sebesar 0.0152 mm/tahun. Untuk yang di daerah HAZ laju korosi yang terbaik adalah pada HAZ dengan arus 80 A dan 90 A yaitu sebesar 0.0205 mm/tahun dan 0.0207 mm/tahun. Nilai antara arus 80 A dan 90 A hanya berselisih 0.002 mm/tahun, nilai yang kecil untuk selisih ini. Secara umum laju korosi ini dengan mengacu dengan tabel tingkat ketahanan korosi berdasarkan MPY, maka aluminium paduan Al-Cr-Si jika diuji dengan media larutan air laut ketahanan korosinya luar biasa dan sangat baik.
4. Hasil pengujian dampak yang terbaik pada *weld metal* variasi arus 100 A mempunyai nilai rata-rata ketangguhan (*impact*) tertinggi 0.210 J/mm². Jika nilai pengujian ini dihubungkan dengan pengujian dampak memiliki keterkaitan antara pengujian struktur mikro dengan pengujian dampak. Karena pada *weld metal* variasi arus 100 A terlihat banyak Cr-Si menyebar dan berbutir besar sehingga daerah ini memiliki ketangguhan atau ketahanan terhadap beban kejutan yang lebih baik, lebih keras dan lebih kuat dari *weld metal* 80 A dan 90 A yang memiliki Cr-Si berbutir kecil. Berbanding terbalik jika diuji kekerasan, lebih ulet yang berbutir kecil daripada berbutir besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhmad R. A., Sarjito J., Samuel, Pengaruh Kuat Arus Listrik, Temperatur Dan Variasi Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan Impact Aluminium 5083 Pengelasan GTAW dengan Gas Pelindung Helium, Tidak dipublikasikan, Universitas Diponegoro, Semarang; 2016
- [2] Callister W. D. , Materials Science And Engineering An Introduction, Seventh edition, Wiley Asia Student Edition, Utah; 2007
- [3] Djoko S., Modul Praktikum Material Teknik, Tidak dipublikasikan, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Yogyakarta; 2014
- [4] Faozi A., Modul Las, Tidak dipublikasikan, SMK N 2 Sekayu, Padang; 2013
- [5] Fontana M. G., Corrosion Engineering, Third edition, Hill Book Company, Singapura; 1987
- [6] Mandal, Aluminium Welding, Second Edition, Department of Ocean Engineering and Naval Architecture, India; 2005
- [7] Prawira M. Z., Sarjito Joko Sisworo & Samuel, Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Kekuatan Impact Aluminium 5083 Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas, Tidak dipublikasikan, Jurnal penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang; 2015
- [8] Riswanda & Mochammad Noer Ilman, Pengaruh Variasi Arus Terhadap Sifat Mekanik Dan Korosi Sambungan Las Tak Sejenis Aluminium Paduan 5083 dan 6061-T6, Tidak dipublikasikan, Jurnal penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012
- [9] Sholichuddin M. & Subowo, Perbedaan Sifat Mekanik Hasil Penyambungan Las GTAW Pada Aluminium 6061 Dengan Filler ER 4043 Dan ER 5356, Tidak dipublikasikan, Jurnal penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya; 2012.
- [10] Sindo Kou, Welding Metallurgy, Second edition, Wiley Interscience Publication, New Jersey; 2003
- [11] Sri Widharto, Petunjuk Kerja Las, Cetakan keenam, Pradnya Paramita, Jakarta; 2006.
- [12] Tata Surdia & Shinroku Saito, Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan keempat, Pradnya Paramita, Jakarta; 1999.
- [13] Trethewey & J. Chamberlain, Korosi, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta; 1991.
- [14] Van Vlack & Ny. Sriati Djaprie, Ilmu dan Teknologi Bahan, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta; 1983
- [15] Yuwono A. H., Dr. Ir. M.Phil.Eng., Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (*Destructive Testing*), Tidak dipublikasikan, Universitas Indonesia, Jakarta; 2009.
- [16] Wawan H., Pengaruh Arus Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Produk Las Tembaga dan Baja Karbon dengan Metode Tungsten Inert Gas (TIG), Tidak dipublikasikan, Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta; 2016.
- [17] Wiryosumarto & Toshie Okumura, Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan kedelapan, Pradnya Paramita, Jakarta; 2000.