

ANALISIS VARIASI ARUS PENGELOASAN TIG TERHADAP KETANGGUHAN IMPAK SAMBUNGAN BUTT JOINT PADA ALUMINIUM 5083

Bagus Saputra¹, Xander Salahudin², Catur Pramono³

Universitas Tidar

E-mail: saputrbagus78@gmail.com, xander@untidar.ac.id, caturpramono@untidar.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:

24 – 03 – 2022

Direvisi:

22 – 05 – 2022

Disetujui Terbit:

29 – 06 – 2022

Diterbitkan:

Cetak

11 – 07 – 2022

Online

11 – 07 – 2022

Abstract: *Visually good welding does not necessarily have a good structure. Therefore, to find out whether the welding has met the criteria, a welding test is needed. This research uses 5083 aluminum material with TIG (Tungsten Inert Gas) welding type and 45° V-butt joint, this material is widely used in the shipping industry as an aluminum ship construction material. The type of test used in analyzing the welding results in this study is the impact toughness test. The goal is to determine the resistance of the material to shock loads. The current variable in the impact toughness test uses a current of 140 A, 160 A, and 180 A. The results of the impact toughness test get the highest impact toughness of 0.171 Joule/mm², which is at a current of 140 A. At a current of 160 A, the impact toughness is 0.121 Joules. /mm², and the lowest impact toughness is found at 180 A, which is 0.090 Joule/mm². Based on the test results, it was found that the optimal condition for the influence of variations in current strength in TIG welding on the impact toughness of the butt joint on aluminum 5083 is a current strength of 140 A of 0.171 J/mm². According to the data results, the variations in current strength of 140 A and 160 A have met the ASTM E23 standard, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials for specifications for welded materials.*

Keyword: Aluminium 5083, impact toughness, TIG welding

Abstrak: Pengelasan yang baik secara visual belum tentu memiliki struktur yang baik. Sebab itu untuk mengetahui apakah pengelasan tersebut telah memenuhi kriteria diperlukan pengujian las. Penelitian ini menggunakan material aluminium 5083 dengan jenis pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) dan sambungan V-butt joint 45°, material tersebut banyak digunakan dalam industri perkapalan sebagai material konstruksi kapal aluminium. Jenis pengujian yang digunakan dalam menganalisa hasil pengelasan pada penelitian ini adalah pengujian ketangguhan impact. Tujuannya yaitu untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban kejut. Variabel arus pada pengujian ketangguhan impact menggunakan arus 140 A, 160 A, dan 180 A. Hasil pengujian ketangguhan impact didapatkan ketangguhan impact tertinggi sebesar 0,171 Joule/mm², yaitu pada kuat arus 140 A. Pada kuat arus 160 A didapatkan ketangguhan impact sebesar 0,121 Joule/mm², dan ketangguhan impact terendah didapatkan pada besaran kuat arus 180 A, yaitu 0,090 Joule/mm². Berdasarkan hasil pengujian tersebut didapatkan kondisi optimal pengaruh variasi kuat arus pada pengelasan TIG terhadap ketangguhan impact sambungan *butt joint* pada aluminium 5083 adalah kuat arus 140 A sebesar 0,171 J/mm². Menurut hasil data tersebut, variasi kuat arus 140 A dan 160 A telah memenuhi standar ASTM E23, *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials* untuk spesifikasi *welded materials*.

Kata Kunci: Aluminium 5083, ketangguhan impact, pengelasan TIG

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan keperluan akan hasil pengolahan yang kokoh membuat bidang las sebagai opsi penting pada proses konstruksi. Maka diperlukan pengelasan yang berkualitas tinggi untuk mendukung kerangka yang aman, kokoh serta mampu bertahan lama. Produk las yang cukup baik dalam kasatmata tidak dapat dijadikan cuan bahwa las memiliki struktur yang baik. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran atau percobaan produk pengelasan guna mencari tahu apakah hasil pengelasan sesuai ketentuan. Oleh karena itu, ketahanan dipertimbangkan ketika memilih komposisi industri. Aspek yang dapat memberikan dampak ketahanan sebuah konstruksi sangat berbeda, yakni disebabkan adanya berubahnya sistem dikarenakan tahap pemanasan. Pengelasan adalah proses pemanasan yang dilakukan pada sebuah komponen. Logam yang terpengaruh oleh panas pengelasan mengubah struktur mikro di sekitar area las. Uji impak adalah percobaan yang mengukur kekuatan material pada beban impak. Hal tersebut yang membuat benda uji impak serta uji tarik dan uji kekerasan yang mana beban diuji bertahap. Percobaan impak adalah usaha guna menggambarkan keadaan operasi komposisi yang banyak ditemui pada konstruksi ataupun transportasi (Kusuma dkk, 2017: 586).

Aluminium seri 5083 merupakan tipe aluminium yang campuran utamanya adalah magnesium (Mg) 4,5%. Campuran seri 5000 yakni jenis campuran aluminium yang tidak bisa direparasi secara mekanis menggunakan tindakan panas, oleh karena itu disebut paduan yang tidak dapat diolah dengan panas. Paduan aluminium seri 5083 merupakan tipe aluminium yang sering dipakai pada industri produksi kapal, sebab memiliki karakteristik mekanik serta kemampuan korosi yang bagus. Aplikasi las TIG (*Tungsten Inert Gas*) ada dalam produksi kapal, biasanya aluminium 5083 sering dipakai dalam perusahaan produksi kapal. Contoh kapal yang menggunakan aluminium 5083 adalah kapal patroli,

paduan aluminium 5083 biasa digunakan sebagai bahan lambung kapal. Uji impak pembuatan kapal memegang peran utama sebab mampu menentukan kekuatan bahan pada benturan terhadap sebuah objek laut, seperti batu/batuan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi, ketangguhan impak, dan struktur mikro dari hasil pengelasan TIG dengan variasi arus 140 A, 160 A, dan 180 A pada aluminium 5083

TINJUAN PUSTAKA

Pengelasan

Sonawan dan Suratman (2004: 1) mengatakan jika "pengelasan (*welding*) merupakan sebuah perangkaian logam yang memakai metode melelehkan separuh logam induk serta logam pengisi memakai ataupun tanpa tekanan serta membuat rangkaian yang tetap". Proses las adalah unsur integral pada tahap manufaktur. Tahap pengelasan yang memiliki prinsip terdapat perangkaian dua ataupun lebih bahan, dimana bertujuan guna menggabungkan beberapa material menjadi satu. Tahap pengelasan bisa dikelompokkan dalam tiga proses utama, yakni proses las meleleh, proses las tidak meleleh dan proses las brazing. Ketika melakukan tahap penyambungan, dibutuhkan instrumen guna melelehkan logam ataupun piranti guna pemanasan logam yang hendak disambung. Piranti untuk melebur maupun memanaskan logam bisa bergantung pada pemakaian gas maupun energi listrik. Gabungan las masa kini sering diaplikasikan dalam konstruksi sebab keunggulannya dalam ketahanan beban dan kemudahan pelaksanaan yang memberikan dampak pada aspek ekonomis yang membuat las menjadi alternatif utama pada pembuatan konstruksi.

Pengelasan TIG atau GTAW

Saat penentuan metode pengelasan yang hendak dipakai, keperluan las dan material yang hendak di las harus dipertimbangkan. Dalam penelitian ini, proses las dilakukan memakai teknik pengelasan TIG. Las TIG sering digunakan untuk mengelas

aluminium. Hal tersebut karena gas tungsten menolak oksigen, menciptakan oksida logam yang cukup berat.

TIG (*Tungsten Inert Gas*) merupakan las memanfaatkan busur api yang diperoleh dari elektroda tungsten tetap. Komposisi aditif adalah material yang serupa atau mirip material yang hendak di las serta pisah dari tembakan las (Sriwidharto, 1996: 15).

Las busur setrum yang memiliki proteksi gas dikatakan TIG (*Tungsten Inert Gas*). Tipe alat las busur setrum berpelindung gas ini merupakan metode las di mana gas ditiupkan menuju area pengelasan guna menghalangi busur serta metal cair dari oksigen lingkungan (oksidasi). Pemakaian gas menjadi penghalang ialah gas karbon dioksida (CO₂), argon (Ar), helium (He), atau gabungan gas ini.

Wiryosumarno dan Okumara (2000: 17) menyebutkan, pemakaian pengelasan TIG memiliki dua benefit, yakni, laju umpan metal pengisi bisa diatur secara independen dari besar arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam masukan dapat disusun sesuka hati. Benefit selanjutnya yaitu mutu area pengelasan yang cukup bagus.

Aluminium

Aluminium adalah metal ringan dengan bagusnya kekuatan korosi dan bagusnya konduktivitas listrik pula serta karakteristik baik yang lain sebagai sifat logam. Guna meningkatkan karakteristik mekanik, Zn, Si, Cu, Ni, Mn, Mg, dll dapat digunakan dalam keadaan terpisah maupun bersamaan. Campuran aluminium tersebut menawarkan karakteristik bagus lainnya misalnya kekuatan korosi, kekuatan aus, komponen ekspansi tidak tinggi, serta lain-lain. Bahan tersebut dipakai di bermacam aspek, tidak hanya digunakan dalam perabotan rumah, tetapi dipakai guna mobil, konstruksi kereta api, pesawat terbang, kapal, serta lain-lain. Campuran aluminium bisa serta tidak bisa diberi perlakuan panas, campuran yang bisa diberi perlakuan panas yakni campuran yang kekokohnya bisa ditingkatkan memakai pendinginan serta temper, sementara

campuran yang tak bisa diolah panas cukup mampu dinaikkan memakai aktivitas dingin.

Uji Ketangguhan Impak

Percobaan impak adalah sebuah usaha guna menggambarkan keadaan operasi bahan yang biasa ditemukan pada mesin kendaraan ataupun bangunan, yang mana berat tidak selalu dialami bertahap, tetapi terjadi tiba-tiba. Esensi uji impak tersebut yaitu penarikan tenaga potensial bandul berat yang berosilasi pada sebuah ketinggian serta mengenai material uji yang selanjutnya terjadi perubahan.

Dalam uji impak tersebut, jumlah tenaga yang ditarik pada material sebelum kegagalan adalah ukuran kekuatan impak atau ketangguhan material. Suatu bahan dikatakan tahan jika dapat menarik berat kejut yang signifikan dengan sukar rusak maupun berubah bentuk. Dalam percobaan impak, tenaga yang ditarik pada material umumnya disebutkan pada joule serta dilafalkan spontan pada kenop indikator terkalibrasi di alat uji.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Mesin las TIG arus DC Titan *Inverter*.
- Alat perkakas dan meja bangku.
- Bahan aluminium 5083.
- Kawat las argon (*Filler*) ER 5356 diameter 3,2 mm.

Dalam penelitian tersebut material yang diujikan berupa plat aluminium 5083 menggunakan dimensi 55 mm x 10 mm x 10 mm. Selanjutnya terlebih dahulu melakukan uji bahan guna memastikan bahan pada aluminium 5083. Berikutnya yaitu produksi sampel dikerjakan dengan mengiris material menggunakan gerinda, lalu membentuk kampuh single V yang memiliki sudut 45°.

Tahap selanjutnya yaitu penyambungan bahan disesuaikan pada wujud kampuh yang telah dibuat, pengelasan yang digunakan pada penelitian ini penyambungan TIG (*Tungsten Inert Gas*) pada ukuran tegangan 30 Volt serta kuat aliran 140 A, 160 A, dan 180 A. Kedudukan

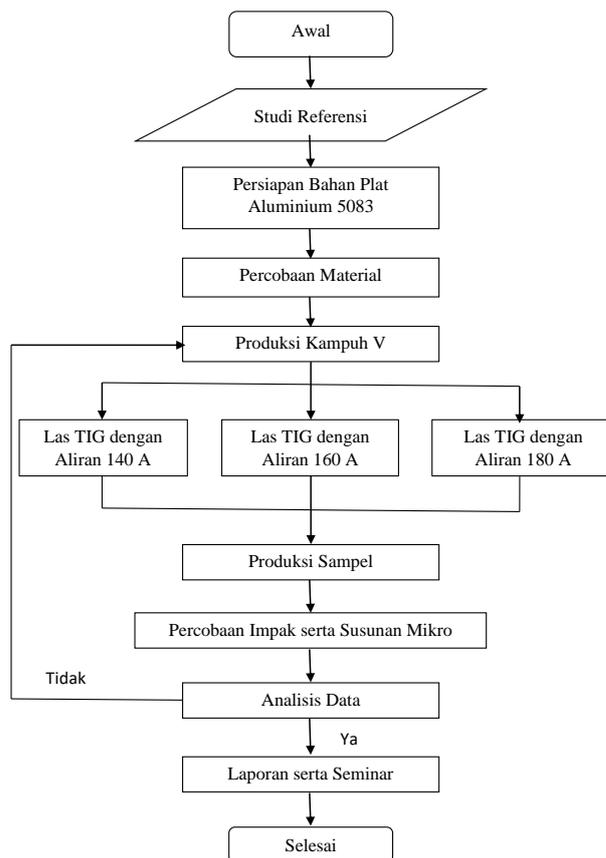
penyambungan yang dikerjakan yakni kondisi *down hand* dengan jenis rangkaian las *butt-joint*, serta ER 5356 dengan diameter 3,2 mm dipilih sebagai elektroda pengelasan.

Langkah terakhir adalah melakukan percobaan kekuatan (impak) serta pengujian gambar struktur mikro pada bahan. Uji impact dilakukan memakai mesin percobaan kekuatan Charpy. Uji impact dilaksanakan tepat dengan parameter ASTM E23, sementara pengamatan struktur mikro dikerjakan guna memberikan informasi bedanya tiap zona las, area HAZ, serta area metal utama pada bahan aluminium 5083.

Pemotongan bahan dan pembuatan kampuh las aluminium 5083 dilakukan di Bengkel Las Jaya Teknik Kebumen. Kemudian dilakukan Uji Komposisi yang dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper.

Proses pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dilakukan di Bengkel Las Jaya Teknik Kebumen. Setelah proses pengelasan, dilakukan pengujian impact serta struktur mikro yang dilaksanakan pada Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sanatadharma.

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN
Hasil Pengujian Komposisi Material

Hasil pengujian komposisi material ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Aluminium 5083

No.	Unsur	Nilai Kandungan Unsur (% berat)
1.	Si	<0,0020
2.	Fe	0,263
3.	Cu	0,0093
4.	Mn	1,422
5.	Mg	1,135
6.	Cr	0,025
7.	Ni	<0,0050
8.	Zn	0,0072
9.	Ti	0,0076
10.	Pb	<0,0050
11.	Sn	<0,0050
12.	V	<0,0050
13.	Sr	0,011
14.	Zr	0,0040
15.	Cd	<0,0020
16.	Co	<0,0050
17.	B	<0,0030

18.	Ag	<0,0010
19.	Bi	<0,0060
20.	Ca	<0,0010
21.	Li	<0,300
22.	Al	97,12

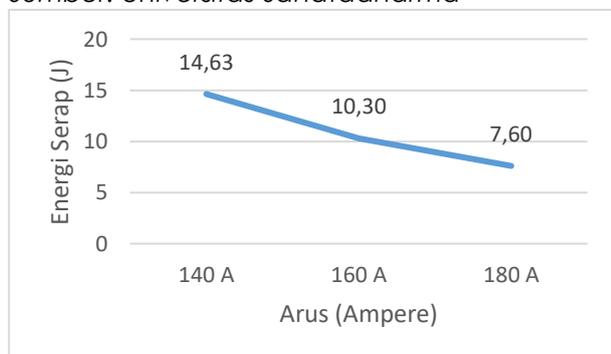
Sumber: Politeknik Manufaktur Ceper

Hasil Pengujian Ketangguhan Impak

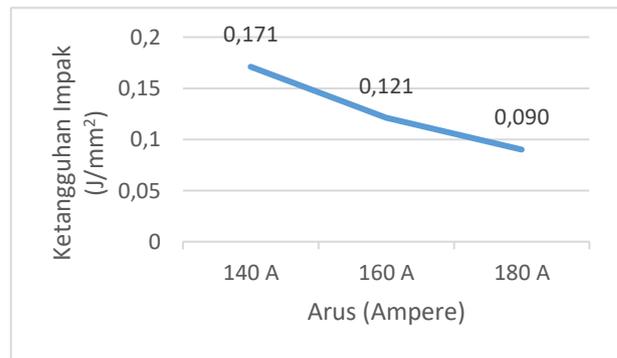
Tabel 2. Data Hasil Pengujian Ketangguhan Impak

No.	Kuat Arus	Luas (mm ²)	Energi Serap (J)	Impak (J/mm ²)
1.	140 A	83,59	15,38	0,183
2.		84,17	15,38	0,182
3.		88,09	13,13	0,149
Rata-rata		85,21	14,63	0,171
1.	160 A	87,00	9,99	0,114
2.		84,44	10,97	0,129
3.		81,73	9,99	0,122
Rata-rata		84,26	10,30	0,121
1.	180 A	83,47	7,93	0,095
2.		84,34	6,95	0,082
3.		84,33	7,93	0,094
Rata-rata		84,02	7,60	0,090

Sumber: Universitas Sanatadharma



Grafik 1. Grafik pengaruh kuat arus pengelasan TIG terhadap energi serap aluminium 5083



Grafik 2. Grafik pengaruh kuat arus pengelasan TIG terhadap ketangguhan impak aluminium 5083

Dalam gambar 2 grafik dampak kuatnya aliran dalam kekuatan impak di kampuh V sambungan butt joint, pada kuat aliran 140 A diperoleh kekuatan impak rerata 0,171 J/mm². Dalam kuat aliran 160 A diperoleh kekuatan impak rerata sebanyak 0,121 J/mm². Pada kuat aliran 180 A diperoleh ketangguhan impak rata-rata sebesar 0,090 J/mm².

Dari grafik 1 serta 2 bisa ditampilkan jika energi serap dan ketangguhan impak semakin menurun dari variasi arus 140 A-180 A. Pada saat variasi arus 140 A didapatkan nilai energi serap sebesar 14,63 Joule dan ketangguhan impak sebesar 0,171 Joule/mm². Ketika variasi arus dinaikkan menjadi 160 A maka nilai energi serapnya dan ketangguhan impak menurun menjadi 10,30 Joule dan 0,121 Joule/mm², nilai tersebut menjadi penurunan nilai energi serap dan ketangguhan impak tertinggi. Kemudian ketika variasi arus dinaikkan menjadi 180 A nilai energi serap dan ketangguhan impak juga menurun menjadi 7,60 Joule dan 0,090 Joule/mm².

Berdasarkan tabel 2 hasil pengelolaan data percobaan ketangguhan impak dalam ukuran kampuh V tersebut menunjukkan jika ukuran aliran listrik yang dipakai dalam penyambungan (las) dapat memberikan dampak pada kekuatan impak sebuah komponen. Hal tersebut disebabkan makin tinggi aliran maka kalor yang diperoleh guna melelehkan elektroda pada pendinginan yang tak berbeda dapat semakin meningkat, yang menjadikan susunan aluminium yang terbuat dapat berbeda juga serta memberi pengaruh kekuatan impaknya.

Percobaan impak pada berbagai aliran penyambungan 140 Ampere, angka ketangguhan impak pada sambungan aluminium 5083 memiliki angka tertinggi dibandingkan berbagai aliran penyambungan. Dalam golongan 140 Ampere, aliran yang dialami cukup baik dan stabil. Angka kekuatan impak pada aliran 140 Ampere lebih besar diantara golongan sampel jenis aliran penyambungan las 160 Ampere serta 180 Ampere.

Percobaan impak pada berbagai aliran penyambungan 160 Ampere memiliki angka ketangguhan impak yang lebih rendah dibandingkan variasi arus 140 Ampere, namun lebih besar dibandingkan jenis aliran 180 Ampere. Dalam variasi tersebut, aliran yang dialami hampir stabil dibandingkan jenis 180 Ampere, tetapi tidak lebih stabil dari kelompok arus 140 Ampere. Aliran yang cukup konsisten tersebut membuat penetrasi serta nyala busur cukup bagus.

Pengujian impak pada jenis aliran penyambungan 180 Ampere memiliki angka ketangguhan impak yang paling rendah diantara variasi arus pengelasan lainnya. Dalam penyambungan tersebut percikan busur nampak lebih tinggi serta pelelehan elektroda sangat cepat.

Berdasarkan analisis data pada tabel 2 di dapatkan bahwa ketangguhan paling tinggi dialami dalam kuat aliran 140 A, disebabkan perolehan penyambungan lebih bagus dibandingkan pada kuat aliran yang lebih besar. Serta dampak kalor dalam kuat aliran yang besar memperoleh hasil las yang kurang sempurna dalam campuran aluminium selanjutnya membuat pelelehan setengah, mengkristal kembali, pelarutan keras, atau keadaan mengendap. Sebab berubahnya susunan tersebut maka kejadian pengurangan ketangguhan serta menjadikan zona las berubah getas.

Menurut ASTM pada "ASTM E23, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials" 0,10 Joule/mm² untuk *welded materials* yang mana didasari oleh dimensi spesimen uji impak dengan *depth notch* yaitu 2 mm. Pada perolehan percobaan impak di hasil

las TIG memakai tipe aliran 140 A, 160 A, dan 180 A menunjukkan bahwa spesimen yang memiliki nilai yang sesuai atau melampaui dari standar atau aturan ASTM E23 adalah spesimen variasi 140 A dengan nilai impak 0,171 Joule/mm² dan variasi 160 A dengan nilai impak 0,121 Joule/mm² untuk spesifikasi *welded materials*.

Penampang Hasil Pengujian Impak



Gambar 2. Penampang Patah Aluminium 5083 Setelah di Uji Impak (Pengelasan dengan Variasi Arus 140 A)

Hasil penampang patahan pada sambungan *butt joint* aluminium 5083 variasi 140 A menunjukkan adanya hasil patahan yang kasar, tampak kurang jelas serta memiliki serat. Apabila dirangkai lagi maka rangkaian akan renggang. Material dengan tipe patahan tersebut memiliki ketangguhan impak cukup tinggi, sebab akan terjadi perubahan dahulu sebelum mengalami patah.



Gambar 3. Penampang Patah Aluminium 5083 Setelah di Uji Impak (Pengelasan dengan Variasi Arus 160 A)

Hasil penampang patahan pada sambungan *butt joint* aluminium 5083 variasi 160 A menunjukkan adanya hasil patahan yang tidak rata dan sedikit berserat. Patahan dengan ciri-ciri seperti ini merupakan jenis patahan campuran, yaitu patahan getas dan patahan ulet. Patahan jenis ini memiliki nilai impak yang cukup baik dilihat dari data hasil pengujian impak.



Gambar 4. Penampang Patah Aluminium 5083 Setelah di Uji Impak (Pengelasan dengan Variasi Arus 180 A)

Hasil penampang patahan pada sambungan *butt joint* aluminium 5083 variasi 180 A menunjukkan adanya hasil patahan yang memiliki permukaan rata, apabila bagian tersebut dirangkai lagi maka kedua bagian tersebut dapat menyatu sempurna. Material yang mempunyai tipe patahan tersebut memiliki ketangguhan impak yang rendah.

Hasil Pengujian Struktur Mikro

1) Variasi Arus 140 A



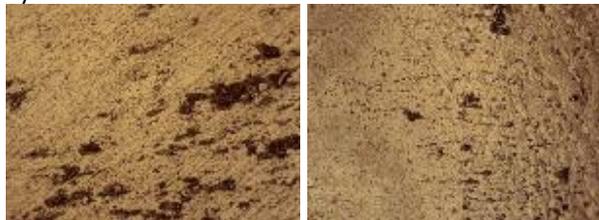
a) Base Metal b) Zona HAZ



c) Daerah las

Gambar 5. Struktur Mikro Pada Kuat Arus 140 A

2) Variasi Arus 160 A

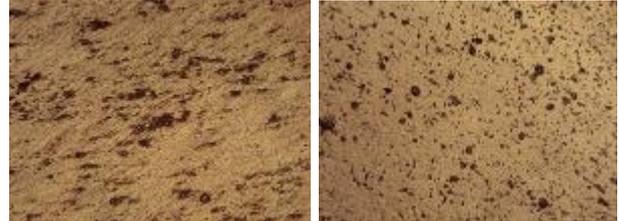


a) Base Metal b) Zona HAZ



c) Daerah las

Gambar 6. Struktur Mikro Pada Kuat Arus 160 A
3) Variasi Arus 180 A



a) Base Metal b) Zona HAZ



c) Daerah las

Gambar 7. Struktur Mikro Pada Kuat Arus 180 A

Berdasarkan gambar struktur mikro 5, 6, dan 7 yang diperoleh pada rangkaian las aluminium 5083 memakai las TIG, nampak jika mengalami deformasi susunan mikro dalam zona las, yang mana kepadatan penampang metal yang diperoleh di zona las lebih lebar dibanding zona *base metal*. Dalam zona HAZ nampak sekat antara zona *base metal* dan zona las yang mempunyai wujud penampang yang tak sama. Pada zona *base metal* timbul partikel Al_3Mg_2 yang mana unsur itu memiliki warna hitam yang tidak tercampur pada susunan aluminium yang menjadikan bahan aluminium menguat. Demikian juga di zona HAZ timbul unsur dengan wujud butir yang banyak. Hal tersebut disebabkan oleh tahap penyambungan yang membuat berubahnya susunan mikro berwujud lamelar berubah bulat. Zona *weld metal* ada abu-abu serta hitam dimana hal itu adalah susunan Al_3Mg_2 serta $MgSi$ yang tercampur sebab berubahnya kalor yang membuat unsur itu meleleh.

Tahap penyambungan yang dikerjakan dalam plat aluminium 5083 dapat membuat karakter pemberian panas serta proses dinginnya yang mampu mengubah susunan mikro pada metal itu. Dalam gambar susunan mikro, maka terwujud susunan mikro di zona *weld metal*, HAZ, serta *base metal* bisa diamati ada beda satu dengan yang lain.

Penyambungan las memakai las *Tungsten Inert Gas* (TIG) pada bermacam aliran 140

A, 160 A, serta 180 A dapat membentuk susunan mikro yang telah terwujud. Hal tersebut disebabkan karena terdapat dampak pada ketangguhan aliran, tipe elektroda, lebarnya sudut kampuh, serta tahapan proses las. Pada perolehan gambar susunan mikro jika dilihat maka mampu memiliki wujud, ukurans, serta susunan struktur yang cukup mirip. Spesimen yang mempunyai sampel serpihan Al_3Mg_2 lebih banyak memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih bagus bila disandingkan dengan sampel yang memiliki susunan serpihan Al_3Mg_2 lebih sedikit dan tidak merata.

Pada foto susunan mikro daerah *weld metal* sesuai gambar 5, 6, serta 7 bisa diamati untuk hasil variasi arus 140 A memiliki penampakan susunan mikro yang cukup padat dan memiliki struktur butiran Al_3Mg_2 lebih tinggi serta menyebar dibandingkan dengan variasi arus 160 A dan 180 A.

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan yang sudah dikerjakan bisa ditarik kesimpulan:

- 1) Komposisi bahan aluminium 5083 didapatkan 22 unsur yang terkandung dengan unsur Al dan Mg sebagai unsur utama.
- 2) Nilai ketangguhan impak aluminium 5083 tertinggi didapatkan sesudah dilaksanakan proses las TIG memakai bermacam kuat aliran 140 A, yaitu sebesar 0,171 Joule/mm².
- 3) Hasil foto struktur mikro benda uji, pada zona *base metal* timbul unsur Al_3Mg_2 dimana unsur itu memiliki warna hitam yang tidak bercampur pada susunan aluminium yang menjadikan bahan aluminium kuat. Pada zona HAZ timbul unsur dengan wujud butiran yang cukup banyak.

Saran yang bisa disampaikan pada pengamatan ini yakni tahap penyambungan lebih diamati dengan teliti dalam pemakaian elektroda serta tingkat aliran yang dipakai sebab cukup berdampak pada ketangguhan impak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan hasil penelitian ini penulis menyadari bahwa hal ini tidak

dapat diwujudkan tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak lain. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa dan semua pihak yang sudah membantu penulis dalam penulisan ini. Secara khusus penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Orang Tua, Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan petunjuk, bantuan, serta dukungan dalam menyelesaikan penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Naufal, S. J. (2016). Pengaruh Kuat Arus Listrik Dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik Dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 256-264.
- Akbar Triansyah, S. J. (2017). Pengaruh Suhu Pendinginan Dengan Media Air Terhadap Hasil Pengelasan Pada Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Aluminium 5083 Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 142-151.
- Akhmad Rosihan Adam, S. J. (2016). Pengaruh Kuat Arus Listrik, Temperatur dan Variasi Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan Impact Aluminium 5083 Pengelasan GTAW Dengan Gas Pelindung Helium. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 297-305.
- Anas Sebtu Prawira, S. J. (2019). Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Travelling Speed Terhadap Kekuatan Impact Aluminium 6061 Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Dengan Gas Pelindung Argon. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 227-234.
- Andewi, L. (2016). *Pengaruh Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Aluminium 6061*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- H Sonawan, S. (2006). *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*. Bandung: Alfabeta.
- Koswara, J. A. (2021). Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Terhadap Sifat

Mekanis Pada Sambungan Las Aluminium 5083 Engine Girder Kapal Laut. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 54-62.

Mahardika Adi Dewantara, H. Y. (2017). Analisa Pengaruh Gas Pelindung Argon Grade A Dan Grade C Terhadap Kekuatan Impact Dan Tekuk Sambungan Butt Joint Pada Aluminium 5083. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 367-373.

Okumaran, H. W. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Rizky Cahya Kusuma, S. J. (2017). Analisis Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, Tekuk dan Mikrografi Aluminium 5083 Pasca Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Dengan Media Pendingin Air Laut Dan Oli. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 585-593.

Rizky Perdana Putra, S. J. (2016). Pengaruh Arus Listrik Dan Temperatur Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impact Aluminium 5083 Pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding). *Jurnal Teknik Perkapalan*, 152-161.

Sriwidharto. (1996). *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yunus, R. R. (2021). Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Aluminium 5083 Dengan Las TIG. *Jurnal Teknik Mesin*, 31-36.