

Analysis Of The Effect Of Electric Current In TIG Welding Process On The Strength Of Welded Joints Of Aluminium 6061 Metal Material

Ilham Khalilullah¹, Iwan Gunawan², Ari Siswanto³

¹Manufacturing Engineering Students Politeknik Manufaktur Bandung, INDONESIA

²Lecturer of Manufacturing Engineering Politeknik Manufaktur Bandung, INDONESIA

³Lecturer of Metal Casting Engineering Politeknik Manufaktur Bandung, INDONESIA

*Corresponding author: ilham.khalilullah2001@gmail.com

Received November 1st 2024; Revised November 6th 2024; Accepted November 27th 2024

Abstract

The selection of current in aluminum welding significantly affects weld joint quality. Excessively high current can lead to increased penetration, distortion, and overmelting. Conversely, low current may result in weak joints, insufficient penetration, and increased porosity risk. This study focuses on understanding the effect of current variations in the Tungsten Inert Gas (TIG) welding process on the strength of 6 mm thick aluminum 6061 welds using ER4043 filler. Tensile strength and flexibility are critical in construction, ensuring strong, stable, and durable welds to withstand static loads. The study found that a welding current of 160A achieved the highest tensile strength, averaging 207.49 MPa. In contrast, 100A yielded the lowest tensile strength at an average of 132.854 MPa, while 130A produced an intermediate average of 154.128 MPa. Bending test results showed that only the 160A weld met standard criteria, whereas welds with 100A and 130A currents exhibited cracks and fractures beyond acceptable limits. Microstructural analysis revealed that the Heat Affected Zone (HAZ) and weld metal at 160A were dominated by the Mg₂Si phase, which significantly enhances the mechanical strength of the material. These findings highlight the importance of selecting the appropriate welding current for aluminum 6061. A current of 160A is recommended as the optimal choice to produce strong and reliable weld joints.

Keywords: *Welding Current, Aluminum 6061, Filler ER 4043, Tensile Test, Bending Test, Microstructure.*

Analisis Pengaruh Arus Listrik Pada Proses Pengelasan TIG Terhadap Kekuatan Sambungan Las Material Logam Aluminium 6061

Abstrak

Pemilihan arus dalam pengelasan aluminium memiliki dampak signifikan terhadap kualitas sambungan las. Arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan penetrasi, potensi distorsi dan risiko overmelting. Di sisi lain, arus yang terlalu rendah dapat menghasilkan sambungan las yang lemah, kurang penetrasi, dan meningkatkan risiko terbentuknya porositas. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh variasi arus pada proses pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) terhadap kekuatan hasil lasan aluminium 6061 ketebalan 6 mm dan menggunakan filler ER4043. Kekuatan tarik dan kelenturan sambung las adalah yang paling penting pada konstruksi tersebut karena membutuhkan sambungan las yang kuat, stabilitas tinggi dan tangguh untuk menahan beban statis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan arus 160A memberikan kekuatan tarik tertinggi, mencapai nilai rata-rata sebesar 207.49 MPa. Variasi arus 100A menunjukkan kekuatan tarik terendah dengan nilai rata-rata 132.854 MPa. Sementara, untuk pengelasan dengan variasi arus 130A memperoleh rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 154.128 MPa. Dari hasil uji bending hanya pengelasan dengan arus 160 Ampere yang memenuhi kriteria standar, sementara variasi arus 100A dan 130A mengalami retakan dan patahan yang melebihi batas standar. Hasil mikrostruktur yang diperoleh dari pengelasan yaitu pada Heat Affected Zone (HAZ) menunjukkan bahwa fasa Mg_2Si yang paling dominan yaitu arus 160A dan pada weld metal fasa Mg_2Si yang paling dominan yaitu arus 160A yang dimana fasa Mg_2Si dapat meningkatkan kekuatan mekanik material. Dengan mempertimbangkan hasil ini, penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang pentingnya pemilihan arus yang tepat dalam pengelasan aluminium 6061. Arus 160A merupakan pilihan yang tepat untuk mencapai sambungan las yang kuat.

Kata kunci: Arus Pengelasan, Alumunium 6061, Filler ER 4043, Uji Tarik, Uji tekuk, Mikrostruktur

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan kebutuhan akan konstruksi yang kokoh menjadikan pengelasan sebagai metode utama yang banyak dipilih dalam pembangunan struktur. Hal ini menuntut hasil pengelasan berkualitas tinggi untuk memastikan struktur yang kuat, aman, dan tahan lama. Salah satu teknik pengelasan yang sering digunakan dalam industri manufaktur adalah Tungsten Inert Gas (TIG). Teknik ini memiliki kelebihan dalam pengaturan panas yang sangat presisi, sehingga sangat cocok untuk pengelasan logam non-ferrous seperti aluminium (Bohnart, 2018). Selain itu, metode ini juga efektif untuk mengelas material tipis tanpa mengganggu struktur material yang dilas (Dadang, 2013). Permasalahan dalam pengelasan aluminium adalah mudahnya teroksidasi ketika terpapar udara selama proses pengelasan. Lapisan oksida ini dapat menghambat proses pengelasan dan memengaruhi kualitas hasil las. Oleh karena itu, penggunaan gas pelindung seperti argon diperlukan untuk menciptakan atmosfer yang mengurangi atau mencegah kontak langsung logam dengan oksigen, yang dapat mengurangi risiko oksidasi (Davis et al., 1964). Aluminium 6061 sering digunakan dalam konstruksi jembatan, rumah, dan kapal laut, di mana kekuatan tarik dan keuletan sambungan las adalah hal yang sangat penting karena membutuhkan sambungan yang kuat dan stabil untuk menahan beban statis (Khusaini et al., 2021).

Pemilihan arus dalam pengelasan aluminium memiliki dampak signifikan terhadap kualitas sambungan las. Arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan panas berlebih, meningkatkan penetrasi, distorsi, dan berisiko overmelting. Sebaliknya, arus yang terlalu rendah dapat menghasilkan sambungan las yang lemah, kurang penetrasi, dan meningkatkan risiko terbentuknya porositas (Gatot bintor, 2000).

Salah satu keunggulan utama dari pengelasan TIG adalah kemampuannya mengontrol panas secara presisi, yang memungkinkan pengelasan pada logam non-ferrous seperti aluminium dengan sedikit distorsi (Bohnart, 2018). Teknik ini sangat cocok untuk pengelasan material tipis tanpa mengubah struktur material yang dilas, memberikan sambungan yang lebih halus dan stabil. Variasi parameter pengelasan, seperti arus dan kecepatan pengelasan, memainkan peran penting dalam memengaruhi kualitas sambungan, termasuk kekuatan tarik dan ketangguhan material. Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan arus dan kecepatan yang tepat dapat meningkatkan hasil pengujian tekuk dan struktur makro pada aluminium 6061, sehingga menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan stabil (Iii et al., 2023).

Selain itu, penggunaan media pendingin yang berbeda, seperti udara dan air tawar, dapat memengaruhi sifat mekanik sambungan las. Penggunaan media pendingin yang berbeda menghasilkan perbedaan signifikan dalam kekuatan tarik dan impak sambungan las (Kastanto et al., 2020). Penggunaan media pendingin yang lebih efektif dapat memperbaiki kualitas sambungan dengan mengurangi risiko distorsi akibat pengaruh panas berlebih. Peningkatan arus dalam pengelasan MIG diketahui dapat meningkatkan kekuatan tarik dan memperbaiki struktur mikro pada aluminium 6061, memberikan hasil yang lebih konsisten dan kuat pada material tersebut (Khusaini et al., 2021). Di sisi lain, variasi elektroda yang digunakan dalam pengelasan aluminium 5083 dan 6061 juga memengaruhi sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi. Elektroda yang tepat dapat memperbaiki ketahanan sambungan terhadap lingkungan yang lebih keras, seperti kelembapan tinggi atau paparan zat korosif (Mikail Rizki, 2018).

Selain pengaruh variasi arus dan elektroda, variasi kampuh las dan arus listrik dalam pengelasan TIG juga memengaruhi kekuatan tarik dan kualitas struktur mikro sambungan las pada aluminium 6061 (Pranajaya et al., 2019). Peningkatan arus pada pengelasan TIG dapat mempercepat proses peleburan dan meningkatkan penetrasi las, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan sambungan. Namun, arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan masalah seperti overmelting, yang berpotensi mengurangi kekuatan dan stabilitas sambungan las.

Pada aluminium 5052 H32, perbandingan antara pengelasan TIG dan Friction Stir Welding (FSW) menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki keunggulan yang berbeda, tergantung pada aplikasi dan karakteristik material. FSW, misalnya, lebih cocok untuk pengelasan material yang lebih tebal dan menghasilkan sambungan tanpa retakan, sementara TIG lebih efektif untuk pengelasan material tipis dengan kontrol panas yang lebih presisi (Shanavas & Raja Dhas, 2017). Penerapan Welding Procedure Specification (WPS) pada aluminium 6061 terbukti dapat meningkatkan kekuatan sambungan las secara signifikan, dengan memastikan bahwa parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan diatur secara optimal untuk meningkatkan kualitas sambungan (Sodik et al., 2019).

Metode friction welding pada aluminium 6061 juga telah terbukti menghasilkan sambungan dengan sifat mekanik dan struktur mikro yang lebih baik dibandingkan dengan pengelasan konvensional. Friction welding meminimalkan risiko oksidasi dan memberikan sambungan yang lebih homogen dengan kekuatan yang tinggi (Wicaksana, 2016). Di sisi lain, variasi arus dalam pengelasan TIG pada aluminium 6061 memengaruhi kekerasan dan struktur mikro sambungan las, dengan arus yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekerasan material dan memperbaiki ketahanan terhadap deformasi (Wicaksono et al., 2019).

Secara keseluruhan, Bohnart (Bohnart, 2018) mengungkapkan bahwa pengaturan parameter pengelasan yang cermat sangat penting untuk mencegah cacat pada sambungan las, khususnya dalam proses Gas

Tungsten Arc Welding (GTAW). Panduan praktis yang diberikan oleh Dadang (Dadang, 2013) juga menekankan pentingnya pemilihan elektroda dan arus yang tepat untuk mencegah masalah selama pengelasan, sementara Davis, Troxell, dan Wiskocil (Davis et al., 1964) menggaris bawahi pentingnya pengujian dan inspeksi material untuk memastikan kualitas dan ketahanan sambungan las. Keberhasilan pengelasan aluminium, khususnya dengan metode TIG, sangat bergantung pada pemahaman mendalam tentang pengaturan parameter dan pengujian material untuk mencapai sambungan las yang kuat dan stabil.

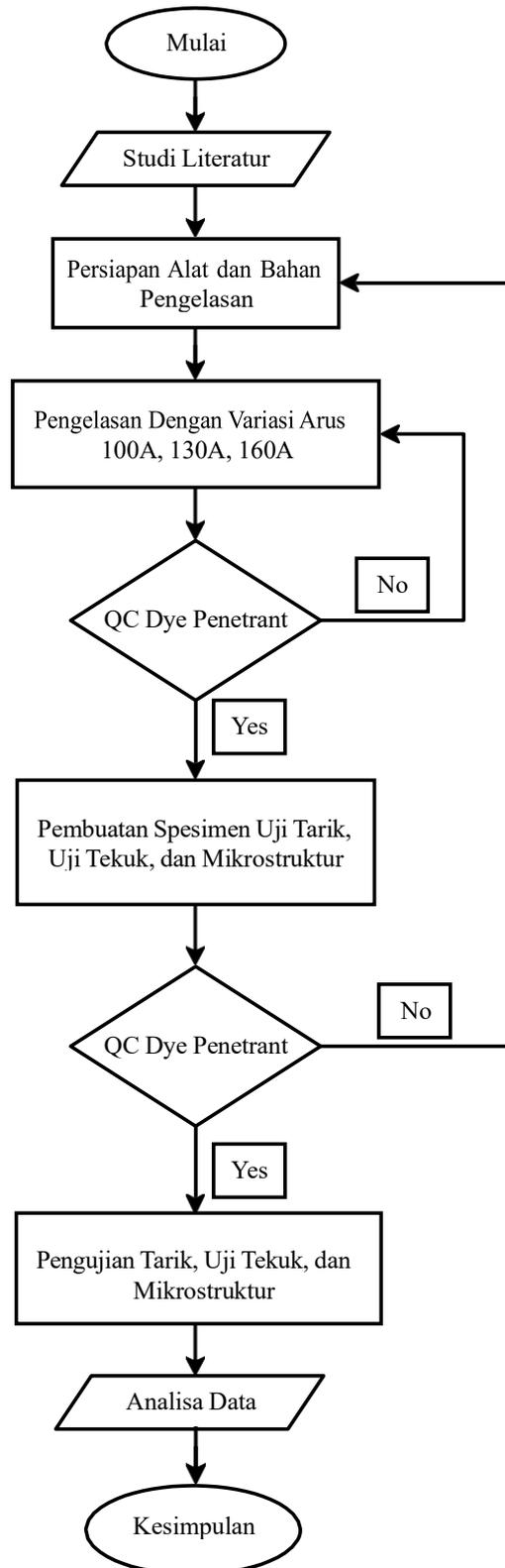
Penelitian sebelumnya di bidang pengelasan aluminium menggunakan metode TIG memberikan referensi penting. Studi oleh Muhammad Bashoruddin dan Abdul Haris Nasution (Bashoruddin & Nasution, 2022) meneliti pengaruh variasi arus pada kekuatan tarik aluminium 6061 menggunakan filler ER4043 berdiameter 3.2 mm dengan kampuh *V-groove* 60°. Hasilnya menunjukkan kekuatan tarik tertinggi pada arus 160A sebesar 196.19 MPa, sedangkan arus 130A menghasilkan kekuatan tarik 157.25 MPa, dan arus 190A menghasilkan 149.28 MPa.

Penelitian lainnya oleh Linda Andewi (Andewi, 2016) mengevaluasi pengaruh variasi arus pada sifat mekanis aluminium 6061 menggunakan filler ER4043 diameter 3.2 mm. Hasil uji menunjukkan tegangan tarik tertinggi rata-rata pada arus 120A sebesar 142.50 MPa, sementara arus 80A menghasilkan tegangan tarik terendah rata-rata sebesar 40.44 MPa.

Weijie Gou dan Lihong Wang (Gou & Wang, 2020) melakukan penelitian tentang pengaruh arus pengelasan aluminium 5052. Hasil penelitian menunjukkan pengujian struktur mikro dengan arus pengelasan 120 A, zona yang terkena panas lebih besar dan strukturnya lebih besar, karena arus pengelasan lebih besar, input panas pengelasan juga meningkat, dan zona yang terkena panas diperbesar dan strukturnya lebih besar. Hasil penelitian menunjukkan pengujian tarik menggunakan sambungan *V-groove* menunjukkan kekuatan maksimum pada pengelasan TIG pada arus 115 A sebesar 212,1 Mpa.

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini adalah eksperimen untuk mengevaluasi hubungan sebab-akibat berdasarkan perlakuan yang diberikan. Perlakuan yang dilakukan berupa variasi kuat arus pada proses pengelasan. Pengelasan dilakukan menggunakan metode Tungsten Inert Gas (TIG) pada material aluminium 6061 dengan filler ER4043 berdiameter 2,4 mm. Proses ini melibatkan pembuatan kampuh berbentuk V dengan sudut 60° dan tinggi akar 2 mm untuk spesimen uji. Variasi arus yang digunakan meliputi 100A, 130A, dan 160A, yang diikuti oleh pengujian tarik, uji bending, dan analisis metalografi (Shanavas & Raja Dhas, 2017). Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif, dirata-rata, divisualisasikan dalam grafik, dan dijabarkan untuk menarik kesimpulan.

II. METODE PENELITIAN



Gambar1. Diagram alir Penelitian

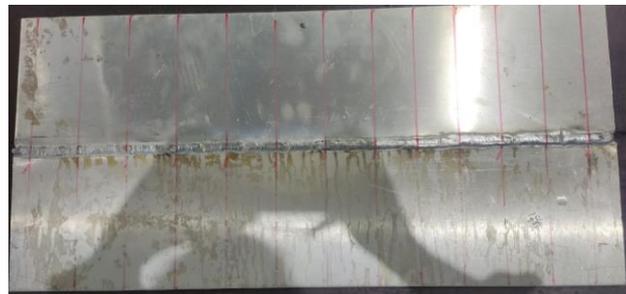
1. Mulai
Menemukan latar belakang masalah yaitu pentingnya untuk memperhatikan kekuatan hasil las yang dipengaruhi salah satunya oleh arus Listrik
2. Studi Literatur
Mencari referensi dan kajian terkait yang mendukung permasalahan untuk dijadikan sebagai landasan teori.
3. Persiapan Alat dan Bahan Pengelasan
Tahap persiapan alat dan bahan pengelasan ini, dilakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan untuk proses pengelasan. Peralatan utama yang digunakan adalah mesin Las TIG AOTAI TIG WELD ATIG 315PAC, Universal Testing Machine Hung Ta HT-9501 untuk mesin uji tarik dan uji bending, Makroskop Olympus BZ dan Mikroskop Olympus GX71 untuk pengamatan metalografi. Bahan material induk menggunakan plat aluminium 6061 dengan tebal 6 mm. Filler yang digunakan adalah AWS ER4043 Ø2,4 mm.
4. Pengelasan dengan Variasi Arus
Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode TIG (Tungsten Inert Gas) dengan variasi arus listrik yang telah ditentukan, yaitu 100A, 130A, dan 160A. Pengelasan mengacu sesuai WPS yang sudah dirancang. Pengelasan dilakukan di Sektor Kerja Las dan Fabrikasi Logam BBPPMPV BMTI, Cimahi didampingi oleh Iwan Purwawiana Yusman, S.ST pada periode waktu 16 Oktober – 27 Oktober 2023 dengan jam kerja efektif 09.00 – 16.00 WIB. Informasi dari BMKG, pada periode tersebut rata – rata suhu pada 10.00 WIB yaitu 26°C, pada 13.00 WIB yaitu 30°C, pada 16.00 WIB yaitu 27°C.



Gambar 1 Hasil las arus 160 A



Gambar 2 Hasil las arus 160 A



Gambar 3 Hasil las arus 160 A

5. *Quality Control*
Quality Control dilakukan dengan metode Dye Penetrant pada hasil lasan, untuk mengetahui diskontinuitas relevan maupun non relevan yang terbuka. jika tidak memenuhi syarat maka dilakukan pembuatan kampuh dan pengelasan kembali. Kriteria syarat untuk dianggap lolos uji Dye Penetrant sesuai *standard and code (ASME BPVC IX 2019)*.



Gambar 5 Hasil *dye penetrant* las arus 100 A



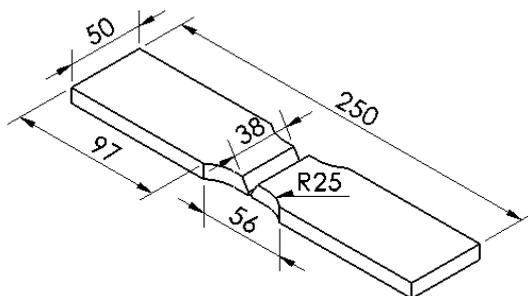
Gambar 6 Hasil *dye penetrant* las arus 130 A



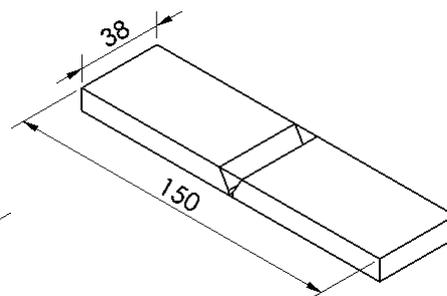
Gambar 7 Hasil *dye penetrant* las arus 160 A

6. Pembuatan Spesimen Uji Tarik, Uji Bending, Mikrostruktur

Spesimen uji untuk pengujian tarik, bending, dan mikrostruktur dibuat melalui proses pemesinan sesuai standar yang berlaku. Untuk ukuran spesimen uji tarik mengacu pada standard AWS B 4.0:2016 Tipe *Transverse Rectangular Tension Test Specimen (Plate)*. Untuk ukuran spesimen uji bending mengacu pada standard AWS B 4.0:2016 Tipe *Transverse Face Bend dan Transverse Root Bend*. Masing-masing jumlah spesimen uji tarik dan uji bending berjumlah 5 buah. Untuk jumlah spesimen mikrostruktur jumlahnya sesuai dari masing-masing variasi arusnya yaitu 3 buah.



Gambar 8 Ukuran Spesimen Uji Tarik



Gambar 9 Ukuran Spesimen Uji Bending

7. *Quality Control*

Quality Control ukuran geometri untuk spesimen uji tarik dan uji bending sesuai standard AWS B 4.0:2016, pengukuran dilakukan dengan menggunakan jangka sorong. Jika ukuran melebihi atau kurang dari batas toleransi maka dilakukan pengelasan ulang.

8. Pengujian tarik, pengujian bending, dan pengamatan mikrostruktur

Pengujian dilaksanakan di Lab Teknik Pengecoran Logam Polman Bandung. Untuk pengujian tarik hanya mengukur nilai kekuatan tariknya saja, untuk kekuatan luluh dan elongasi diabaikan. Pengujian bending menggunakan metode *Typical Bottom Ejecting Guided Bend Test Fixture*. Pengujian bending ini untuk mengukur kekuatan hubungan antara logam las, HAZ, dan logam induk. Kriteria lolos uji tarik dan uji bending mengacu *standard and code (ASME BPVC IX 2019)*.

9. Analisa Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Objek penelitian adalah pengelasan logam aluminium 6061 yang mengacu pada standar ASTM-B209

(ASTM-B209, 1996) dan spesimen uji kekuatan tarik dan kekuatan lentur mengacu pada standar AWS B4.0:2007 (AWS-B4.0:2007, 2007) . Kemudian dilakukan pembuatan Kampuh berbentuk V dibuat dengan jarak antar plat 2 mm dan tinggi akar 2 mm. Sebelum pembuatan spesimen uji, pengelasan dilakukan dengan variasi arus 100A, 130A, dan 160A menggunakan elektroda ER4043 berdiameter 2,4 mm (American Welding Society, 2014). Selanjutnya dilakukan pengujian bending, pengujian tarik dan pengamatan mikrostruktur hasil pengelasan. Data yang diperoleh dari pengujian tersebut dianalisis secara deskriptif untuk membandingkan hasil dari spesimen yang diberi perlakuan dengan variasi arus yang berbeda pada proses pengelasan. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam mengenai pengaruh variasi arus terhadap kualitas sambungan las aluminium 6061.

III. HASIL PENELITIAN

1. Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik pada aluminium 6061 yang telah mengalami proses pengelasan TIG dengan variasi kuat arus 100A, 130A, dan 160A, diperoleh nilai kekuatan tarik yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik

Kuat Arus	Kekuatan Tarik (Mpa)					Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	
100 A	130.50	140.70	136.48	124.88	131.71	132.854
130 A	119.11	171.50	149.80	171.02	159.21	154.128
160 A	215.82	192.84	229.24	223.07	176.48	207.49

2. Hasil Pengujian Bending

Berdasarkan hasil pengujian bending pada aluminium 6061 yang telah melalui proses pengelasan TIG dengan variasi kuat arus 100A, 130A, dan 160A, diperoleh hasil kriteria Reject dan Accepted pada masing-masing sampel uji, yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Bending

Variasi Arus	Sampel	Hasil Inspeksi
100 A	<i>Face Bend 1</i>	<i>Reject</i>
	<i>Face Bend 2</i>	<i>Reject</i>
	<i>Face Bend 3</i>	<i>Reject</i>
	<i>Root Bend 1</i>	<i>Reject</i>
	<i>Root Bend 2</i>	<i>Reject</i>
	<i>Root Bend 3</i>	<i>Reject</i>
	<i>Face Bend 1</i>	<i>Accepted</i>
	<i>Face Bend 2</i>	<i>Accepted</i>

130 A	Face Bend 3	Reject
	Root Bend 1	Accepted
	Root Bend 2	Reject
	Root Bend 3	Reject
	Face Bend 1	Accepted
160 A	Face Bend 1	Accepted
	Face Bend 2	Accepted
	Face Bend 3	Accepted
	Root Bend 1	Accepted
	Root Bend 2	Accepted
	Root Bend 3	Accepted

3. Hasil Pengamatan Mikrostruktur

Hasil pengamatan mikrostruktur pada aluminium 6061 yang telah melalui proses pengelasan TIG dengan variasi kuat arus 100A, 130A, dan 160A, diperoleh gambar hasil pengamatan mikrostruktur yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Pengamatan Mikrostruktur

<p style="text-align: center;">Daerah HAZ Arus 100 A</p>	<p style="text-align: center;">Daerah Weld Metal Arus 100 A</p>
<p>Dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) pada pengelasan aluminium 6061</p>	<p>Terlihat struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh fasa AlFeSi. Bentuk seperti <i>chinese-script</i> dan warnanya abu-</p>

<p>dengan variasi arus 100A, 130A, dan 160A terdiri dari fasa α-Al dan AlFeSi. terlihat bahwa AlFeSi mempunyai jumlah yang sangat sedikit dibanding dengan α-Al. Dapat dilihat bahwa butir-butir α-Al berwarna putih dan memiliki struktur butir yang halus.</p>	<p>abu terang. Sifatnya menurunkan kekuatan tarik dan keuletan pada aluminium. Fasa AlFeSi terbentuk karena pebekuan yang cepat. Pebekuan yang terjadi dengan cepat diakibatkan heat input yang kecil karena arus pengelasan yang rendah. Setelah logam pengisi mencair mengisi <i>fusion zone</i>, logam pengisi langsung membeku.</p>
<p>Daerah HAZ Arus 130 A</p>	<p>Daerah Weld Metal Arus 130 A</p>
<p>Dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) pada pengelasan aluminium 6061 dengan variasi arus pengelasan 130A α-Al, Mg_2Si dan AlFeSi. Terlihat bahwa AlFeSi dan Mg_2Si mempunyai jumlah yang sangat sedikit dibanding dengan α-Al.</p>	<p>Terlihat struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh fasa Mg_2Si. Mg_2Si berbentuk seperti fibrous /serat akar berwarna hitam. Fasa Mg_2Si terbentuk karena pembekuan yang lambat. Pembekuan terjadi dengan lambat diakibatkan heat input yang besar karena arus pengelasan yang tinggi. Fasa Mg_2Si yang terbentuk selama pengelasan diharapkan karena dapat meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan material. Fasa ini memperkuat struktur mikro sambungan las, terutama pada aluminium 6061. Pada arus pengelasan yang lebih tinggi, seperti 160A, pembentukan Mg_2Si lebih dominan, yang berkontribusi pada peningkatan kekuatan tarik dan keuletan material.</p>

<p style="text-align: center;">Daerah HAZ Arus 160 A</p>	<p style="text-align: center;">Weld Metal Arus 160 A</p>
<p>Dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) ini didominasi oleh fasa Mg_2Si dan $AlFeSi$. Fasa Mg_2Si dan $AlFeSi$ yang lebih banyak lebih banyak dibandingkan arus 100A dan 130A.</p>	<p>Terlihat struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh fasa Mg_2Si. Mg_2Si berbentuk seperti fibrous/serat akar berwarna hitam. Fasa Mg_2Si yang terbentuk lebih banyak dibandingkan arus 130A. Struktur Mg_2Si ini dapat meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan. Fasa $AlFeSi$ yang terbentuk sangat sedikit.</p>

IV. PEMBAHASAN

1. Pengujian Tarik

Hasil data pengujian tarik dari penelitian ini dan referensi yang ada, dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada pengelasan dengan arus 160A, dengan rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 207.49 MPa. Sebaliknya, kekuatan tarik terendah diperoleh dari pengelasan dengan arus 100A, dengan rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 132.854 MPa.

Jika arus yang digunakan terlalu rendah, penyalaan busur listrik menjadi sulit, sehingga panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan filler rod dan material dasar, menghasilkan sambungan las yang kecil dan tidak rata, serta penembusan yang kurang dalam. Sebaliknya, jika arus terlalu tinggi, filler rod akan mencair terlalu cepat, menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang lebih dalam, tetapi menyebabkan kekuatan tarik yang lebih rendah dan meningkatkan kerapuhan hasil lasan.

2. Pengujian *Bending*

Hasil uji bending yang sesuai dengan acceptance criteria standard and code (ASME BPVC IX 2019) diperoleh dari pengelasan dengan variasi arus 160 A. Hasil uji bending pada pengelasan dengan variasi arus 100A dan 130A menunjukkan bahwa tidak semua sampel memenuhi kriteria penerimaan sesuai dengan standar dan kode (ASME BPVC IX 2019). Beberapa sampel menunjukkan retakan dan patahan yang melebihi batas standar, yang mengindikasikan bahwa arus yang lebih rendah dapat mempengaruhi kualitas sambungan las, menyebabkan distorsi atau kerusakan pada sambungan tersebut.

3. Pengamatan Mikrostruktur

Hasil pengujian struktur mikro pada variasi kuat arus 100A, 130A, dan 160A, pada daerah Heat Affected Zone (HAZ), fasa AlFeSi paling dominan pada arus 160A. Sementara pada daerah las, fasa Mg₂Si paling dominan pada arus 160A. Semakin banyak fasa Mg₂Si yang terbentuk, semakin tinggi kekuatan tarik dan keuletan aluminium 6061. Hal ini terbukti dari hasil pengujian kekuatan tarik dan uji bending yang menunjukkan peningkatan kualitas sambungan las pada arus 160A, yang menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji dan analisis dari pengelasan aluminium 6061, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil kekuatan tarik terbesar diperoleh dari pengelasan dengan variasi arus 160 A dengan rata-rata nilai kekuatan tariknya yaitu 207.49 Mpa. Hasil kekuatan tarik terkecil diperoleh dari variasi arus 100 A dengan rata-rata nilai kekuatan tariknya yaitu 132.85 Mpa. Pengelasan dengan variasi arus 130 A memperoleh rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 154.12 Mpa. Untuk arus yang diluar rekomendasi yaitu 190 A menghasilkan kekuatan tarik sebesar 174.50 Mpa dan 80 A menghasilkan kekuatan tarik sebesar 40.44 Mpa. Apabila arus yang digunakan terlalu rendah, penyalan busur listrik menjadi sulit, sehingga panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan filler rod dan material dasar. Hal ini menghasilkan sambungan las yang kecil, tidak rata, dan penembusan yang kurang dalam. Sebaliknya, jika arus terlalu tinggi, filler rod akan mencair terlalu cepat, menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam, tetapi kekuatan tarik menjadi rendah dan meningkatkan kerapuhan sambungan las.
2. Hasil uji bending yang sesuai dengan acceptance criteria standard and code (ASME BPVC IX 2019) diperoleh dari pengelasan dengan variasi arus 160 A. Hasil uji bending dari pengelasan dengan variasi arus 100 A dan 130 A tidak semuanya sesuai dengan acceptance criteria standard and code ASME BPVC IX 2019 (ASME IX, 2019), terdapat retakan dan patahan yang melebihi dari batas standar. Retakan dan patahan tersebut dikarenakan jika arus terlalu rendah maka penetrasi tidak bagus serta pendinginan akan berlangsung secara sangat cepat dan rentan terhadap retakan. Jika arus yang digunakan terlalu tinggi maka akan membuat heat input besar, itu akan membuat benda kerja mengalami distorsi. Distorsi adalah perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk yang terjadi akibat pengaruh panas selama proses pengelasan. Pemuaihan dan penyusutan material yang tidak merata dapat menyebabkan perubahan bentuk pada benda kerja, seperti melengkungnya atau tertariknya bagian-bagian sekitar area pengelasan. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas dan akurasi dimensi sambungan las, serta mengurangi kestabilan struktural material yang dilas.
3. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro pada variasi kuat arus 100A, 130A, dan 160A, pada daerah Heat Affected Zone (HAZ), fasa Mg₂Si paling dominan pada pengelasan dengan arus 160A, sementara fasa AlFeSi paling dominan pada pengelasan dengan arus 100A. Di daerah

las, fasa Mg₂Si juga dominan pada arus 160A, sedangkan fasa AlFeSi dominan pada arus 100A. Semakin banyak fasa Mg₂Si yang terbentuk, semakin tinggi kekuatan tarik dan keuletan yang diperoleh pada aluminium 6061, karena fasa ini berkontribusi positif terhadap sifat mekanik material. Sebaliknya, semakin banyak fasa AlFeSi, semakin rendah kekuatan tarik dan keuletan aluminium 6061, karena fasa ini cenderung mengurangi kekuatan dan ketangguhan material. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji kekuatan tarik dan uji bending, yang menunjukkan bahwa pengelasan dengan arus 160A, yang menghasilkan lebih banyak fasa Mg₂Si, menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan bending yang lebih tinggi.

5. REFERENSI

- American Welding Society. (2014). *AWS D1.2/D1.2M: 2014 - Structural Welding Code-Aluminum*.
- Andewi, L. (2016). Pengaruh Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas) Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Alumunium 6061. *Tugas Akhir Sarjana, Universitas Negeri Semarang*.
- ASME IX. (2019). ASME IX-Welding, Brazing, and Fusing Operators. *American Society of Mechanical Engineers ASME Boiler and Pressure Vessel Committee on Welding, Brazing, and Fusing, SECTION IX(1, July 2021), 421 (260)*. <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
- ASTM-B209. (1996). *Astm-B-209-96*. In *Standards Specification for Alumunium adn Alumunium-Alloy Sheet and Plate* (pp. 296–325).
- AWS-B4.0:2007. (2007). Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. In *Aws* (pp. 1–135).
- Bashoruddin, M., & Nasution, A. H. (2022). Pengaruh Kuat Arus Pada Kekuatan Tarik Aluminium 6061 Dengan Pengelasan Tungsten Inert Gas (Tig). *Piston*, 7(1), 20–28.
- Bohnart, E. R. (2018). *Welding : principles and practices* (5th ed). McGraw-Hill Education. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000795359571712.bib?lang=ja>
- Dadang. (2013). Teknik Las GTAW Teknik Las GTAW. *Kementrian Pendidikan Dan Kebudayaan, 0341*, 91.
- Davis, H. E., Troxell, G. E., & Wiskocil, C. T. (1964). The testing and inspection of engineering materials. In *(No Title)* (3rd ed). McGraw-Hill. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000793659927808.bib?lang=ja>
- Gatot bintor, A. (2000). *Dasar-dasar Pekerjaan Las, 1st ed*. Kanisius. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130000797953677440.bib?lang=ja>
- Gou, W., & Wang, L. (2020). Effects of welding currents on microstructure and properties of 5052 aluminum alloy TIG welded joint. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 772(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/772/1/012011>
- Iii, S., Kuch, A., & Jalmaf, Y. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Besar Arus dan Kecepatan Pengelasan Terhadap Pengujian Tekuk / Bending dan Struktur Makro pada Material Aluminium 6061 dengan Proses Pengelasan TIG (GTAW). *Senastitan, Senastitan Iii*, 1–10.

- Kastanto, R., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2020). Perbandingan Kekuatan Impak, Tarik, dan Mikrografi Sambungan Las MIG dan TIG pada Aluminium 6061 dengan Variasi Media Pendingin Udara dan Air Tawar. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(4), 560–570. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Khusaini, M., Fadelan, F., & Winardi, Y. (2021). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Pengelasan Mig (Metal Inert Gas) Aluminium 6061. *AutoMech : Jurnal Teknik Mesin*, 1(01), 25–29. <https://doi.org/10.24269/jtm.v1i01.4271>
- Mikail Rizki, A. (2018). Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi. *Teknik ITS*, 60–62. https://repository.its.ac.id/52231/2/0431144000011-Undergraduate_Theses.pdf
- Pranajaya, W., Santosa, A. W. B., & Budiarto, U. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las TIG (Tungsten Inert Gas) Pada Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 286. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Shanavas, S., & Raja Dhas, J. E. (2017). Weldability of AA 5052 H32 aluminium alloy by TIG welding and FSW process - A comparative study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 247(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/247/1/012016>
- Sodik, A. A., Mufarida, N. A., & Kosjoko, K. (2019). Pengaruh Penerapan Wps (Welding Procedure Specification) Al 6005 Tipe Butt Joint Terhadap Kekuatan Sambungan Las Al 6061. *J-Proteksion*, 3(2), 1. <https://doi.org/10.32528/jp.v3i2.2246>
- Wicaksana, S. (2016). Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Sambungan Las Aluminium 6061 Hasil Friction Welding. *Jurnal ROTOR*, 9(1).
- Wicaksono, R. T., Suharno, S., & Harjanto, B. (2019). Pengaruh Kuat Arus Pada Pengelasan Paduan Aluminium 6061 Dengan Menggunakan Metode Las Tig Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 1(1), 37. <https://doi.org/10.20961/nozel.v1i1.28484>