

ISSN (ONLINE) 2598-9936



INDONESIAN JOURNAL OF INNOVATION STUDIES
PUBLISHED BY
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO

Table Of Contents

| | |
|---|---|
| Journal Cover | 1 |
| Author[s] Statement | 3 |
| Editorial Team | 4 |
| Article information | 5 |
| Check this article update (crossmark) | 5 |
| Check this article impact | 5 |
| Cite this article..... | 5 |
| Title page | 6 |
| Article Title | 6 |
| Author information | 6 |
| Abstract | 6 |
| Article content | 7 |

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October
DOI: 10.21070/ijins.v26i4.2104

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

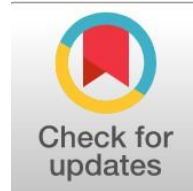
Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

**Welding Parameter Variation on Aluminum Mechanical Properties:
Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan terhadap Sifat Mekanik
Aluminium**

Arya Hardi Alvian, mulyadi@umsida.ac.id (*)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mulyadi, mulyadi@umsida.ac.id

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

(*) Corresponding author

Abstract

General Background Welding plays a critical role in manufacturing processes, particularly for aluminum materials widely used due to their lightweight and corrosion resistance. **Specific Background** Variations in welding parameters such as current, voltage, and joint configuration can significantly alter mechanical properties and microstructural characteristics. **Knowledge Gap** Previous studies have examined welding parameters, yet limited analysis integrates multiple variables with detailed mechanical and microstructural evaluation. **Aims** This study aims to analyze the effect of welding parameter variations on tensile strength, hardness, and microstructure of aluminum joints. **Results** The findings indicate that parameter variations lead to differences in mechanical performance and microstructural formation, with certain conditions producing more stable joint characteristics. **Novelty** This study provides a combined evaluation of welding parameters and their relationship with mechanical and microstructural properties in a single framework. **Implications** The results offer practical insights for selecting appropriate welding parameters to achieve desired material performance in industrial applications.

Keywords: Welding, Aluminum, Mechanical Properties, Microstructure, Parameter Variation

Key Findings Highlights

Parameter variation alters tensile and hardness characteristics

Microstructure differences correspond to thermal input changes

Certain conditions yield more stable joint performance

Published date: 2026-04-30

I. Pendahuluan

Pengelasan aluminium merupakan proses kritis dalam industri manufaktur modern karena aluminium adalah material yang sering digunakan dalam konstruksi ringan, transportasi, dan industri lainnya [1]. Namun, pengelasan aluminium tidak selalu mudah dilakukan karena sifatnya yang reaktif terhadap oksigen, yang dapat menyebabkan terbentuknya oksida yang mengganggu kualitas pengelasan. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengoptimalkan parameter proses pengelasan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan meminimalkan cacat [2].

Salah satu teknik pengelasan yang umum digunakan adalah Las tipe GTAW atau yang biasa disebut (TIG) *Tungsten Inert Gas* adalah pengelasan dengan memakai busur nyala dengan tungsten/elektroda yang terbuat dari wolfram, sedangkan bahan penambahnya digunakan bahan yang sama atau sejenis dengan material induknya [3]. Untuk mencegah oksidasi, dipakai gas kekal (inert) 99 % Argon (Ar) murni.[4] Dalam konteks aluminium, pemilihan parameter proses TIG seperti arus pengelasan, kecepatan pengelasan, jenis elektroda, dan fluks yang digunakan sangat mempengaruhi karakteristik mekanis dari sambungan yang dihasilkan [5].

Studi mengenai pengaruh parameter proses *Tungsten Inert Gas* (TIG) terhadap kekerasan dan struktur makro aluminium penting untuk mengidentifikasi kondisi optimal pengelasan [6]. Kekerasan material merupakan indikator penting dari kekuatan mekanis sebuah sambungan pengelasan, sementara struktur makro memberikan wawasan tentang tata letak butir dan potensial adanya cacat seperti porositas dan retakan [7]. Dengan memahami hubungan antara parameter proses *Tungsten Inert Gas* (TIG) dan karakteristik mekanis serta makrostruktur aluminium, para insinyur dan ahli material dapat mengembangkan metode pengelasan yang lebih efisien dan menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama [8].

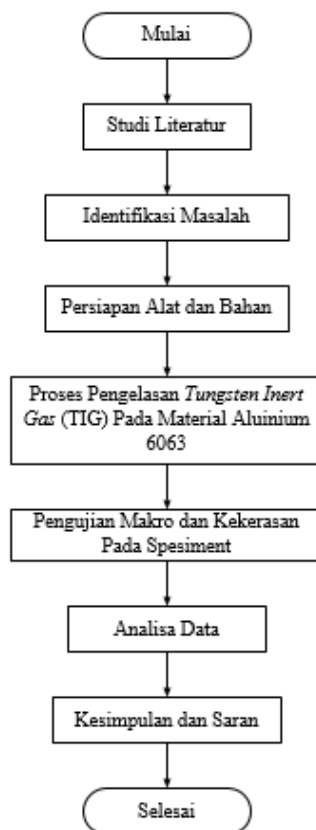
Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa variasi parameter proses seperti arus dan tegangan pengelasan dapat secara signifikan mempengaruhi pembentukan struktur makro aluminium [9]. Misalnya, penggunaan arus yang terlalu tinggi dapat meningkatkan resiko terbentuknya porositas, sementara kecepatan pengelasan yang terlalu lambat dapat menyebabkan pembentukan struktur dendritik yang kasar [10]. Oleh karena itu, optimisasi parameter proses TIG tidak hanya memperbaiki sifat mekanis sambungan, tetapi juga mengurangi kemungkinan cacat yang dapat mengurangi keandalan struktural keseluruhan [11].

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter proses *Tungsten Inert Gas* (TIG) untuk pengelasan aluminium, dengan fokus khusus pada pengaruhnya terhadap kekerasan dan struktur makro material. Melalui analisis mendalam terhadap hasil pengujian, diharapkan dapat ditemukan hubungan yang jelas antara parameter proses dengan karakteristik material yang dihasilkan dalam hal ini adalah kekerasan dan struktur makro pada zona las. Hasil dari studi ini dapat memberikan panduan berharga bagi praktisi industri dalam pengoptimalan proses pengelasan aluminium untuk mencapai sambungan yang lebih kuat dan efisien secara ekonomi.

II. Metode

A. Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan pada proses menyusun serta proses urutan pada saat penelitian ini digambarkan dalam diagram alir (*flowchart*). Berikut ini merupakan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Studi Literatur

Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa referensi dari jurnal, artikel, buku, tugas akhir yang berkaitan, pengamatan secara langsung di lapangan, juga dari media internet, dan diskusi dengan dosen pembimbing yang ada kaitannya dengan besar perencanaan tinjauan parameter pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) Terhadap kekerasan dan struktur makro [12].

C. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang perlu dilakukan untuk melakukan pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) juga pengujian kekerasan dan pengujian mikro spesimen yaitu sebagai berikut.

1. Mesin Las TIG STAHLWERK/DC WIG – 315P

Mesin las TIG merk STAHLWERK AC/DC WIG – 315P pada penelitian ini digunakan untuk proses pengelasan dengan

menyambungkan antar plat aluminium sehingga membentuk spesimen dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan [13]. Parameter yang dirubah dari mesin las yaitu kuat arusnya yaitu 120 A,130 A,140 A. Untuk tekanan Gas Argon konstan dimasing-masing spesimenya yaitu 0.15 Mpa dengan flow rate 10-15 L/menit.



Gambar 2. Mesin Las TIG STAHLWERK AC/DC WIG – 315P

2. Mesin CNC Milling

Mesin CNC *milling* yang dipakai penelitian disini yaitu merk weidamc vmc-640 memiliki 3 axis yang berfungsi untuk melakukan pemotongan spesimen penggunaan mesin cnc milling harus memiliki program yang telah dibuat sebelumnya di aplikasi *Solidwork* [14].



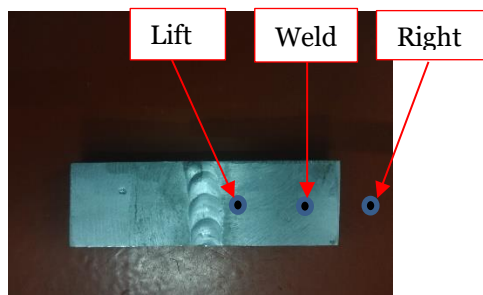
Gambar 3. Mesin CNC Milling

3. Alat Uji Kekerasan

Alat uji kekerasan ini digunakan untuk mengetahui kekerasan material pada hasil pengelasan dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan.



a). Alat uji Kekerasan



b). Zone Uji Kekerasan

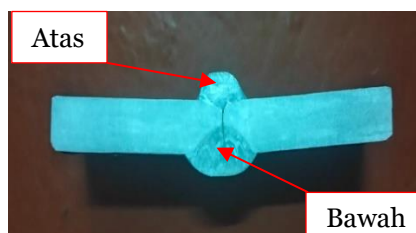
Gambar 4. Alat Uji Kekerasan

4. Alat Uji Makrostruktur

Alat uji makrostruktur menggunakan mikroskop optik untuk melihat struktur dari spesimen yang diuji dan untuk penelitian ini dilakukan dengan pembesaran 50 x.



a). Mikroskop Optik



b). Zone Makrostruktur

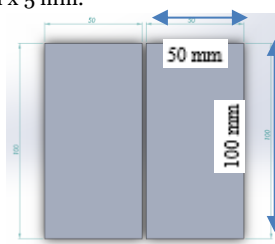
Gambar 5. Pengujian Makrostruktur

5. Aluminium 6063

Plat aluminium 6063 adalah bahan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini. Sesuai dengan banyaknya parameter proses pengelasan yaitu 9 spesimen dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 5 mm.



a). potongan plat aluminium



b). bentuk join pengelasan

Gambar 6. Plat Aluminium 6063

6. Kertas Gosok

Kertas gosok disini digunakan pada proses poles dan grinding. Padapenelitianini digunakan kertas gosok ukuran 1000, 2000, 3000 dan 5000.

7. Cairan Etching

Cairan kimia untuk etsa digunakan untuk mengikis permukaan supaya struktur makro dapat dilihat. Komposisi cairan yang digunakan disebut komposisi keller's yaitu 2 ml hf, 3 ml hcl, 5 ml hno₃, dan 190 ml h₂o [15].

a) Proses Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) pada Aluminium 6063

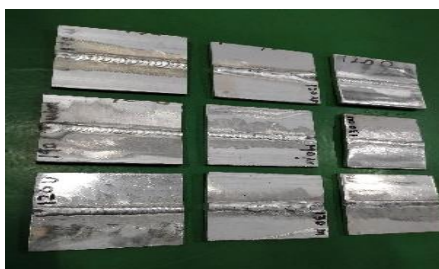
Spesimen Aluminium 6063 akan dilas dengan posisi 1G dengan beberapa parameter yang akan menjadi acuan variasi yaitu variasi kuat arus pengelasan dan variasi pendinginan setelah pengelasan.

Tabel 1. Variasi Parameter Proses Pengelasan

| No. Spc | Kuat Arus (A) | Pendingin | Kekerasan Brinell hardness (HB) | Struktur Mikro |
|---------|---------------|-----------|---------------------------------|----------------|
| 1 | 120 | air | | |
| 2 | 120 | udara | | |
| 3 | 120 | olie | | |
| 4 | 130 | air | | |
| 5 | 130 | udara | | |
| 6 | 130 | olie | | |
| 7 | 140 | air | | |
| 8 | 140 | udara | | |
| 9 | 140 | olie | | |

Pada penelitian ini proses Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) dilakukan sebanyak 9 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah –langkah proses Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) :

1. Siapkan mesin las, elektroda, meja untuk pengelasan dan plat aluminium yang akan digunakan.
2. Jig atau klem plat aluminium yang telah disiapkan untuk mencegah terjadinya proses pemuaiian pada plat.
3. Atur Parameter mesin las TIG sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.
4. Lakukan proses pengelasan pada plat aluminium sebanyak 9 kali.
5. Pada setiap hasil pengelasan lakukan pendinginan pada hasil pengelasan sesuai dengan parameter pendingin yang ditentukan.
6. Kemudian lakukan pembersihan pada hasil pengelasan di area pengelasan dan memberikan nomer specimen sesuai dengan nomer parameter.
7. Apabila semua proses pengelasan sudah selesai lakukan pembersihan lingkungan sekitar pengelasan dan pembersihan pada alat dan bahan pengelasan.



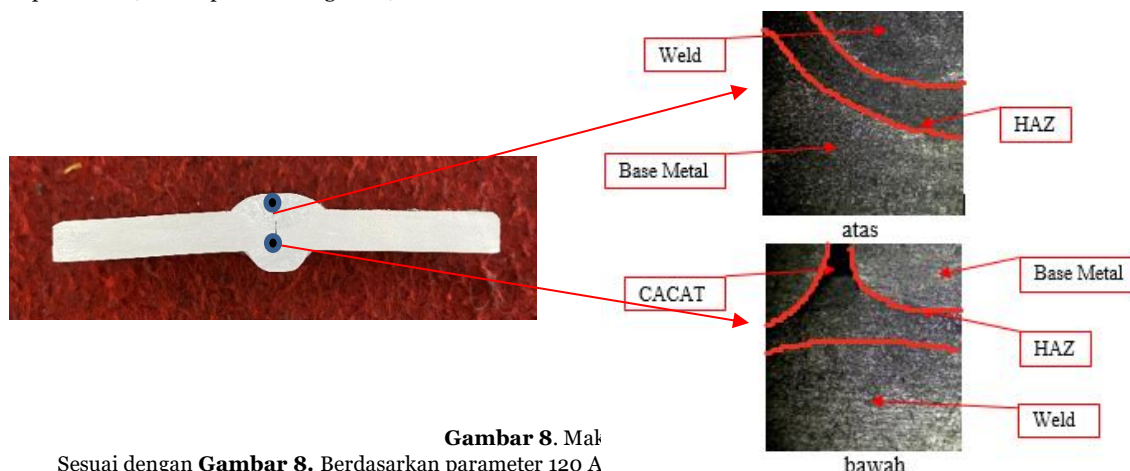
Gambar 7. Hasil Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG)

III. Hasil dan Pembahasan

A. Uji Makrostruktur

Pengujian Mikrostruktur dilakukan dengan alat Mikroskop Optik menggunakan mikroskop 50 x. Berikut hasil dari pengambilan makrostruktur pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) aluminium 6063 dengan uji makrostruktur. Berikut dibawah ini adalah hasil uji makrostruktur dari proses friction stir welding dengan metode OA Taguchi.

1. Spesimen 1 (120 Ampere Pendingin Air)

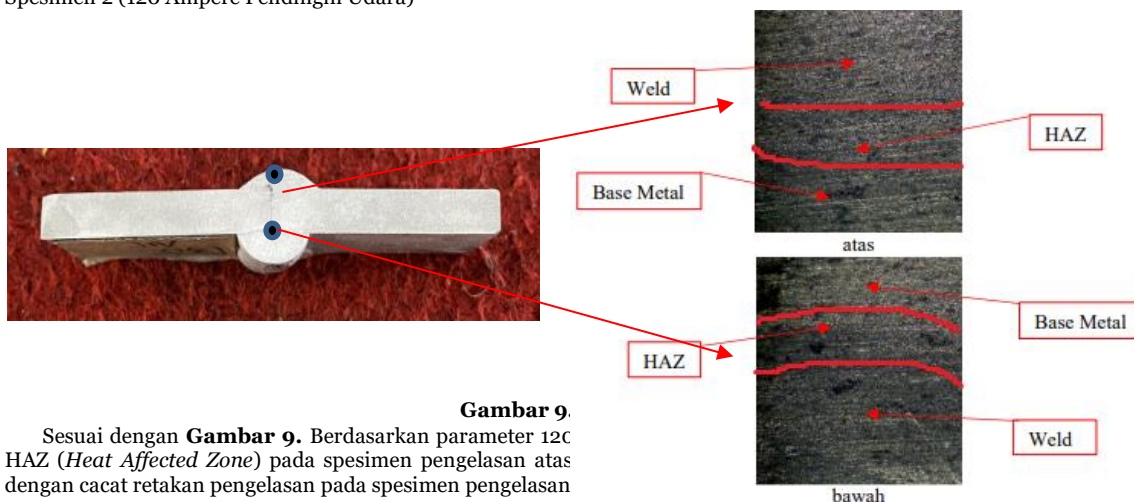


Gambar 8. Mak

Sesuai dengan Gambar 8. Berdasarkan parameter 120 A (Heat Affected Zone) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal, HAZ dan cacat retakan pada spesimen pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang membesar, HAZ yang mengecil dengan cacat retakan pengelasan

pada spesimen pengelasan.

- Spesimen 2 (120 Ampere Pendingin Udara)

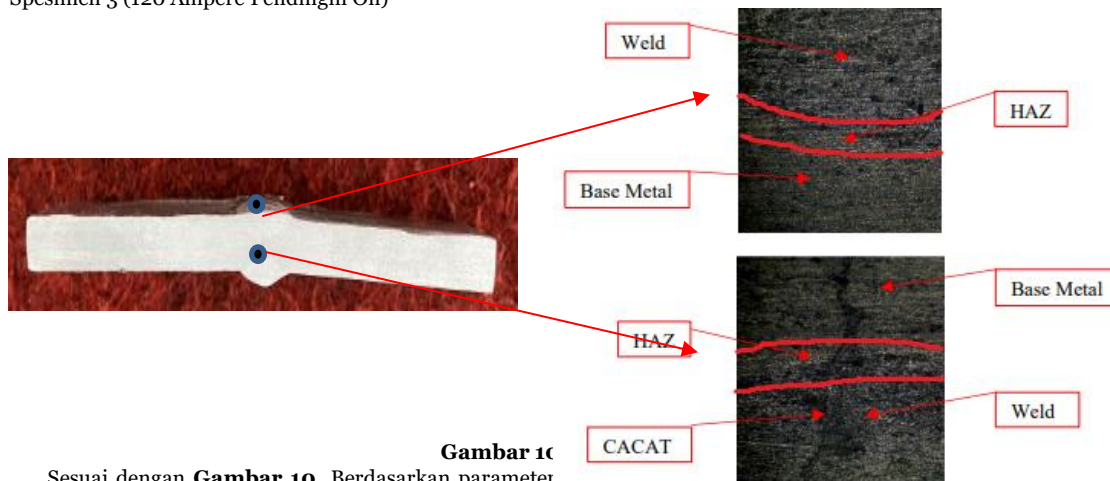


Gambar 9.

Sesuai dengan **Gambar 9**. Berdasarkan parameter 12C HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dengan cacat retakan pengelasan pada spesimen pengelasan

Weld metal dan HAZ yang mengecil

- Spesimen 3 (120 Ampere Pendingin Oli)

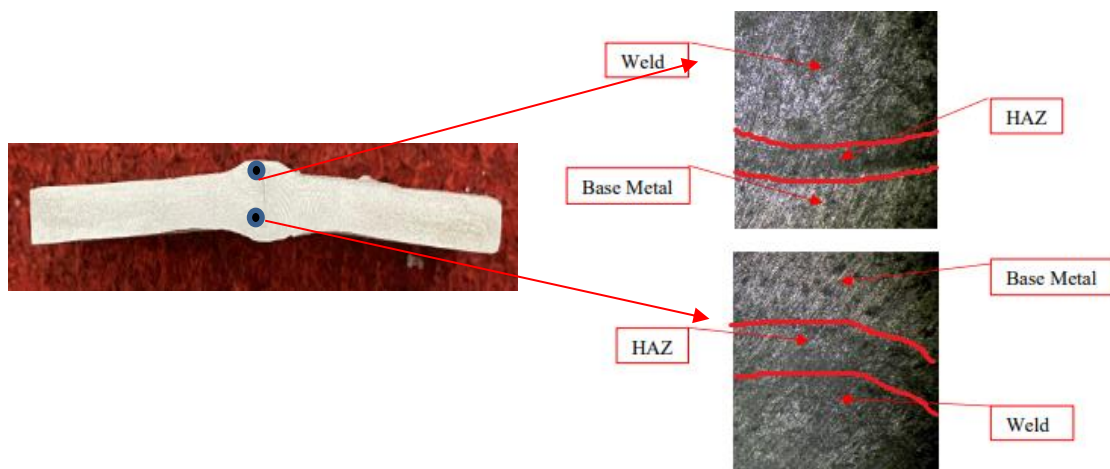


Gambar 10

Sesuai dengan **Gambar 10**. Berdasarkan parameter HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang membesar, HAZ yang mengecil dengan cacat retakan pengelasan pada spesimen pengelasan.

1, Weld metal dan HAZ yang mengecil

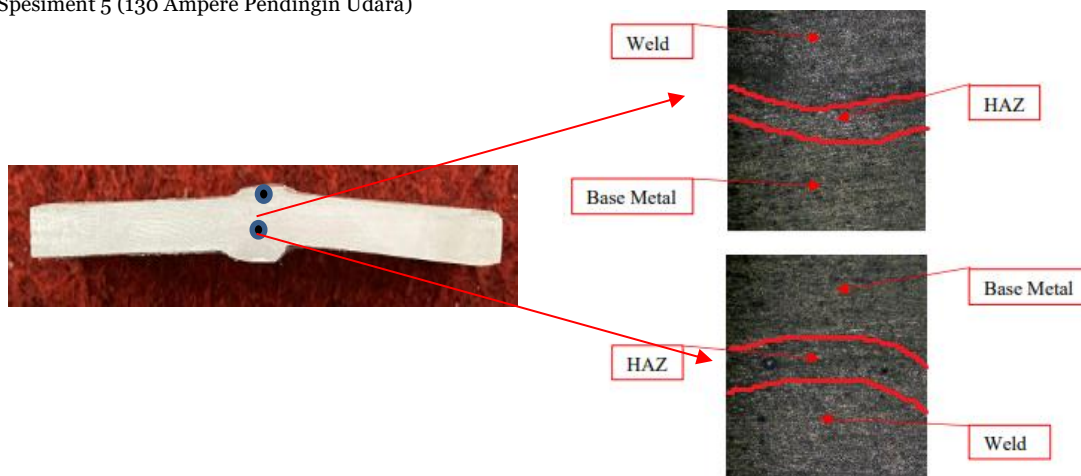
- Spesimen 4 (130 Ampere Pendingin Air)



Gambar 11. Makrostruktur Spesimen 4

Sesuai dengan **Gambar 11.** Berdasarkan parameter 130 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

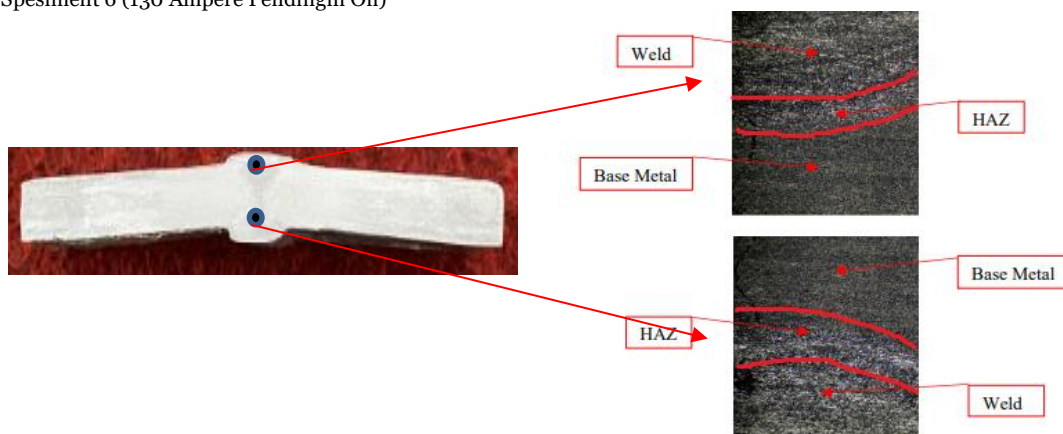
5. Spesimen 5 (130 Ampere Pendingin Udara)



Gambar 12. Makrostruktur Spesimen 5

Sesuai dengan **Gambar 12.** Berdasarkan parameter 130 Ampere dan pendingin udara, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

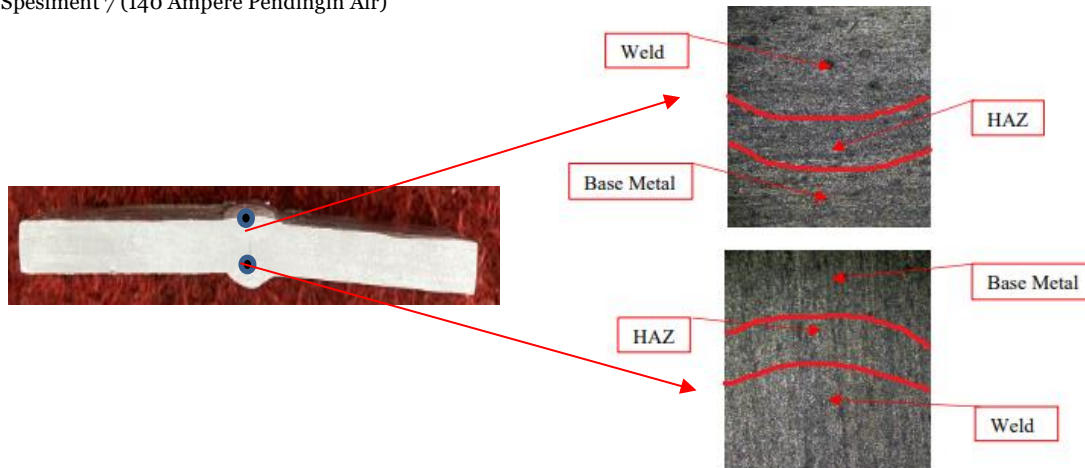
6. Spesimen 6 (130 Ampere Pendingin Oli)



Gambar 13. Makrostruktur Spesimen 6

Sesuai dengan **Gambar 13.** Berdasarkan parameter 130 Ampere dan pendingin oli, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

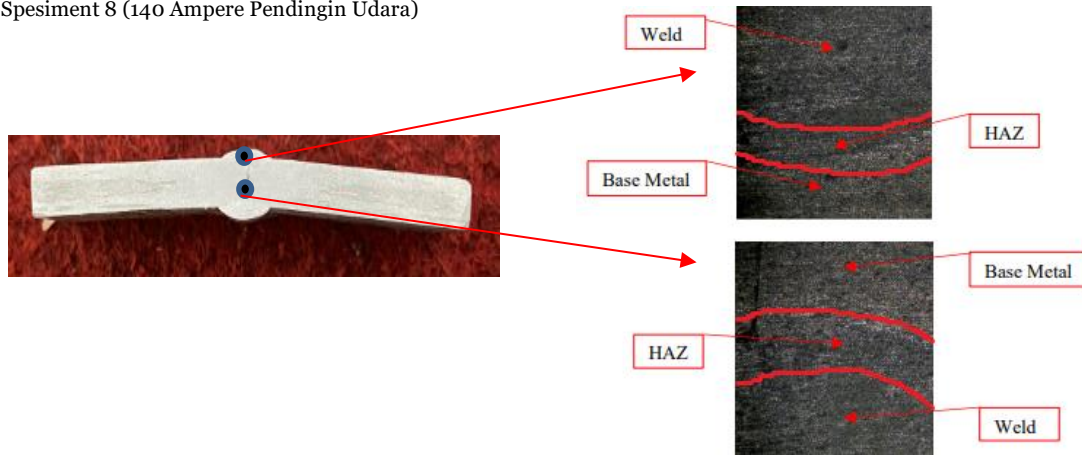
7. Spesimen 7 (140 Ampere Pendingin Air)



Gambar 14. Makrostruktur Spesimen 7

Sesuai dengan **Gambar 14**. Berdasarkan parameter 140 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

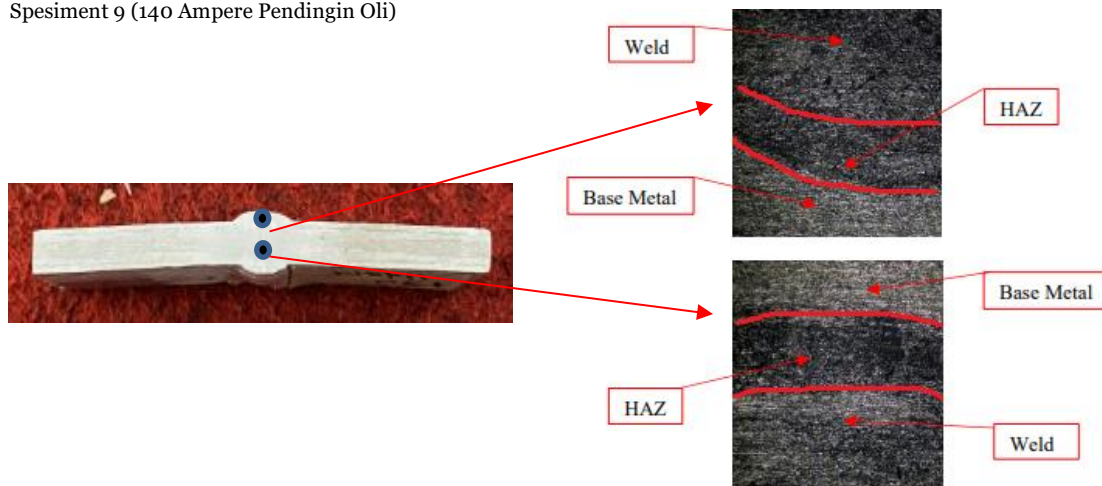
8. Spesiment 8 (140 Ampere Pendingin Udara)



Gambar 15. Makrostruktur Spesimen 8

Sesuai dengan **Gambar 15**. Berdasarkan parameter 140 Ampere dan pendingin udara, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

9. Spesiment 9 (140 Ampere Pendingin Oli)



Gambar 16. Makrostruktur Spesimen 9

Sesuai dengan **Gambar 16**. Berdasarkan parameter 140 Ampere dan pendingin oli, dimana terdapat Base Metal, Weld metal dan HAZ (*Heat Affected Zone*) pada spesimen pengelasan atas dan terdapat Base Metal, Weld metal yang mengecil, HAZ yang melebar tanpa cacat pengelasan pada spesimen pengelasan.

B. Uji Kekerasan

Uji ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) aluminium 6063 menggunakan unit pengukuran kekerasan Brinell.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Brinell Hardness (HB)

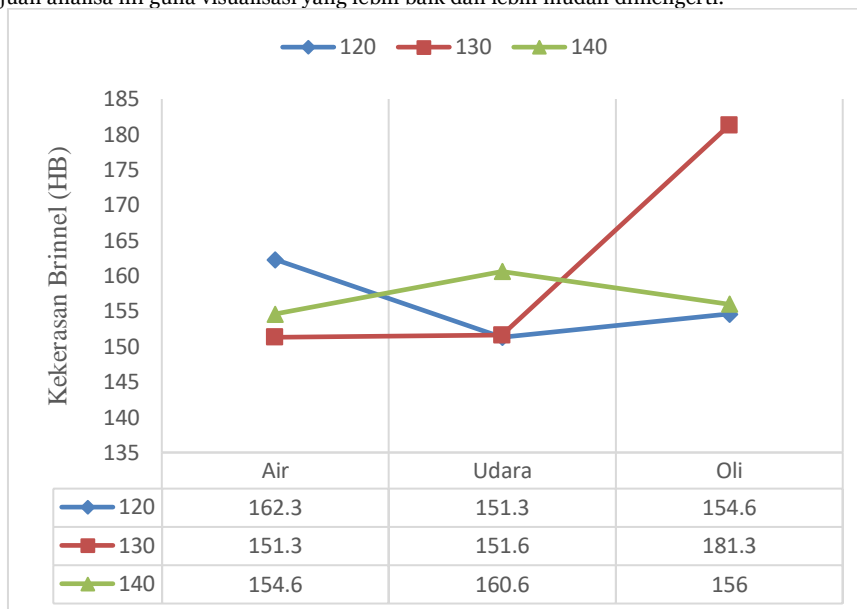
| No. Spc | Kuat Arus (A) | Pendingin | Kekerasan Brinell Hardness (HB) | | | |
|---------|---------------|-----------|---------------------------------|------|-------|-----------|
| | | | Lift | Weld | Right | Rata-rata |
| 1 | 120 | air | 154 | 179 | 154 | 162.3 |
| 2 | 120 | udara | 148 | 161 | 148 | 152.3 |
| 3 | 120 | olie | 212 | 260 | 212 | 228 |
| 4 | 130 | air | 138 | 178 | 138 | 151.3 |
| 5 | 130 | udara | 138 | 179 | 138 | 151.6 |
| 6 | 130 | olie | 187 | 170 | 187 | 181.3 |
| 7 | 140 | air | 154 | 156 | 154 | 154.6 |
| 8 | 140 | udara | 156 | 170 | 156 | 160.6 |
| 9 | 140 | olie | 156 | 156 | 156 | 156 |

Sesuai data pada **Tabel 2**, hasil pengujian kekerasan brinell dapat disimpulkan bahwa dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen 3 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin Oli memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 228 HB karena oli memiliki titik didih tinggi yaitu 400°C dan massa jenis yang rendah sehingga proses pendinginannya lama untuk proses pendinginan oli menjadi media pendingin yang sangat baik sehingga patrikel pada pengelasan menjadi lebih erat dan keras.

Nilai terendah ada pada spesimen 4 dengan parameter kuat arus 130A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 151,3 HB karena nilai titik didih air 100°C dan massa jenis air yang tinggi maka proses pendinginan menjadi cepat maka partikel pada pengelasan cenderung lebih renggang dan kekerasan menjadi rendah.

C. Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Brinell (HB) dan Uji Makrostruktur

Untuk memudahkan pemahaman pada data dari hasil uji mikro struktur dan uji kekerasan dilakukan proses analisa pada hasil pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG). Tujuan analisa ini guna visualisasi yang lebih baik dan lebih mudah dimengerti.



Gambar 17. Grafik Hasil Uji Kekerasan Brinell Hardnes (HB) dan Makrostruktur

Berdasarkan pada **Gambar 17**, Grafik hasil pengujian kekerasan brinell (HB) dan uji mikrostruktur dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen 3 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin Oli memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 228 HB pada uji kekerasan dan pada uji mikrostruktur dimana terdapat Base Metal, Weld metal yang melebar dan HAZ (*Heat Affected Zone*) yang mengecil juga cacat retakan pada spesimen pengelasan karena kuat arus yang kurang tepat ,serta nilai terendah ada pada spesimen 4 dengan parameter kuat arus 130A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 151,3 HB pada uji mikrostruktur dimana terdapat Weld metal yang mengecil dan HAZ (*Heat Affected Zone*) yang melebar tanpa cacat las karena ampere yang tepat pada pengelasan.

IV. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Pengaruh Kuat Arus dan Media Pendingin Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) Terhadap Kekerasan dan Struktur Makro” dengan Pengujian analisa makrostruktur dan kekerasan brinell maka dapat di ambil kesimpulan yaitu hasil pengujian kekerasan brinell (HB) dan uji makrostruktur dapat disimpulkan bahwa dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen 3 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin Oli memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 228 HB pada uji kekerasan dan pada uji makrostruktur dimana terdapat Base Metal, Weld metal yang melebar dan HAZ (*Heat Affected Zone*) yang mengecil juga cacat retakan pada spesimen pengelasan karena kuat arus yang kurang tepat ,serta nilai terendah ada pada spesimen 4 dengan parameter kuat arus 130A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 151,3 HB pada uji makrostruktur dimana terdapat Weld metal yang mengecil dan HAZ (*Heat Affected Zone*) yang melebar tanpa cacat las karena kuat arus 130 ampere yang tepat untuk pengelasan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Progam Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat serta rekan aslab, himpunan mahasiswa dan teman-teman yang telah membantu untuk menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

- R. T. Arrohman, “Analysis of Current Strength in GMAW Welding of Aluminum 6063 Single V Joint on Tensile Strength, Hardness, and Microstructure,” M.S. thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2022.
- Y. Qohar, “Analysis of Joint Variation in GMAW Welding of Aluminum 6063 Butt Joint on Tensile Strength, Hardness, and Microstructure,” M.S. thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2023.
- S. Sulistyono and I. H. Shafly Kh., “Effect of Voltage and Stick Out on Surface Defects of MIG Welding Butt Joint Aluminum 6063,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 19, no. 2, pp. 293–298, 2024.
- R. W. Lubis et al., “Effect of Filler Metal Variation in GTAW Welding of Aluminum Alloy on Hardness and Microstructure,” *Sinergi Polmed Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 42–51, 2024.
- M. S. Pranata, A. W. B. Santosa, and M. Iqbal, “Comparison of Tensile Strength and Hardness of GMAW and GTAW Welding on Aluminum 6061 with Current Variation,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 59–69, 2020.
- D. S. Pamuji et al., “Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties and Microstructure of AA6061 Using Friction Stir Welding,” pp. 424–435.
- A. P. Pratama, “Effect of PWHT Holding Time Variation on GMAW Aluminum 6061-T6 on Hardness and Microstructure,” M.S. thesis, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 2021.
- “Effect of Feedrate on Friction Stir Welding Parameters,” 2024.
- I. Helmi and T. Tarmizi, “Effect of Pin Shape on Mechanical Properties of Aluminum 5083-H112 Using Friction Stir Welding,” *Jurnal*

Indonesian Journal of Innovation Studies

Vol. 26 No. 4 (2025): October

DOI: 10.21070/ijins.v26i4.2104

- Riset Teknologi Industri, vol. 11, no. 1, pp. 43, 2017.
10. A. Setiawan, "Effect of GTAW Welding Current on Stainless Steel 304," Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
 11. M. Z. A. Soleh and M. Mulyadi, "Design and Build Jig for Friction Stir Welding on AA6061-T6," Indonesian Journal of Innovation Studies, vol. 14, 2021.
 12. A. I. Wardana and M. Mulyadi, "Analysis of Underwater Friction Stir Welding on AA6005-T6 Aluminum Alloy," 2022.
 13. M. F. Subkhan and M. Mulyadi, "Confirmation Experiment of Friction Stir Welding on AA6061 Alloy," 2022.
 14. M. A. I. Muslim and Iswanto, "Effect of Friction Stir Welding Parameters on Polyethylene Mechanical Properties," 2023.
 15. Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, "Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy," Academic Open, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, 2023.