

Analysis of the Influence of Current Strength and Cooling Media Water, Oil, Air on Impact Strength and Fractography in MIG (Metal Inert Gas) Welding on ASTM A36 Steel Plate

[Analisa Pengaruh Kuat Arus Dan Media Pendingin Air, Oli, Udara Terhadap Kekuatan Impact Dan Fraktografi Pada Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) Pada Plat Baja ASTM A36]

Achmad Surya Wijaya¹⁾, Mulyadi²⁾

^{1),2)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: mulyadi@umsida.ac.id

Abstract. *In the development of technology and industry, steel is one of the important materials, as evidenced by its common use in the world of manufacturing, maritime, building materials, piping, oil and gas. Therefore, it is important to study and optimize the welding process parameters to improve the quality of the joints and minimize defects. This study aims to find various combinations of MIG (Metal Inert Gas) process parameters for steel welding with variations in current strength and coolant. The method of this study is by conducting the MIG (Metal Inert Gas) welding process then conducting impact and fractography tests. The conclusion of the best magnetic particle test results is specimen 5 with an impact price of 0.609 Joule / mm² and the worst result is specimen 8 with an impact price of 0.319 Joule / mm² and the best impact fractography test results are specimen 6 obtaining an impact fractography angle of 60.2 ° and the lowest result is specimen 1 obtaining an impact fractography angle of 60.2 °.*

Keywords - *Metal Inert Gas (MIG), ASTM A36 Steel Plate, Impact Strength, Fractography Analysis*

Abstrak. *Dalam perkembangan teknologi dan industri, baja merupakan salah satu material penting, dibuktikan dengan pemakaiannya yang sudah umum dalam dunia manufaktur, maritim, bahan bangunan, perpipaan, oil and gas. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengoptimalkan parameter proses pengelasan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan meminimalkan cacat. Penelitian ini bertujuan untuk mencari berbagai kombinasi parameter proses MIG (Metal Inert Gas) untuk pengelasan baja dengan variasi kuat arus dan pendingin. Metode penelitian ini yaitu dengan melakukan proses pengelasan MIG (Metal Inert Gas) kemudian dilakukan pengujian impact dan fraktografi. Hasil penelitian pada kekuatan impact dan fraktografi terbaik yaitu spesimen 5 dengan harga impact sebesar 0,609 Joule/mm² dan hasil terburuk yaitu spesimen 8 dengan harga impact sebesar 0,319 Joule/mm² dan hasil pengujian fraktografi impact terbaik yaitu spesimen 6 memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2° dan hasil terendah yaitu adalah spesimen 1 memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2°.*

Kata Kunci – *Metal Inert Gas (MIG), Plat Baja ASTM A36, Kekuatan Impact, Analisis Faktografi.*

I. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi dan industri, baja merupakan salah satu material penting, dibuktikan dengan pemakaiannya yang sudah umum dalam dunia manufaktur, maritim, bahan bangunan, perpipaan, oil and gas, maupun penggunaan substansial yang lain. Hal ini dikarenakan baja memiliki kelebihan pada kekuatan, ketersediaan bahan, versatility, sifat mekanis, dan tingkat ekonomis yang rendah dari pada material yang lain [1]. Plat baja ASTM A36 ialah salah satu jenis paling umum digunakan dalam aplikasi struktural. Plat baja karbon ringan ini mengandung paduan kimia yang memberikan sifat keuletan dan kekuatan yang ideal untuk digunakan dalam berbagai struktur seperti jembatan, konstruksi bangunan, tanki, maupun pipa [2]. Las MIG (Metal Inert Gas) ialah las busur gas yang menggunakan kawat elektroda berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Proses pengelasan menggunakan arus searah (DC) dengan menggunakan arus sekitar 50A-600A dan gas yang digunakan pada saat pengelasan yakni gas argon dan helium [3].

Pada pengelasan MIG (Metal Inert Gas) terdapat berbagai macam cacat pengelasan, antara lain undercutting, porositas, slag inclusion, crack/ retak dan kurang penetrasi atau penembusan yang kurang sempurna [3]. Hal ini sangat berbahaya sekali terhadap sifat mekanik dari sambungan pengelasan tersebut, apalagi sambungan Tumpang (*LAP Joint*) posisi benda kerjanya saling tindih serta posisi pengelasannya berada di tengah sudut ke dua benda [4]. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat dan mekanis suatu bahan ialah melalui perlakuan panas (*Heat Treatment*). [5] Oleh karena itu dilakukan penelitian pengelasan menggunakan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan metode pendinginan air, oli, dan udara pada material plat ASTM A36. Melalui proses ini apakah metode pendinginan menggunakan air, oli, dan udara dapat mempengaruhi kekuatan Impact dan Analisis Fraktografi pada material tersebut. Air dan udara merupakan

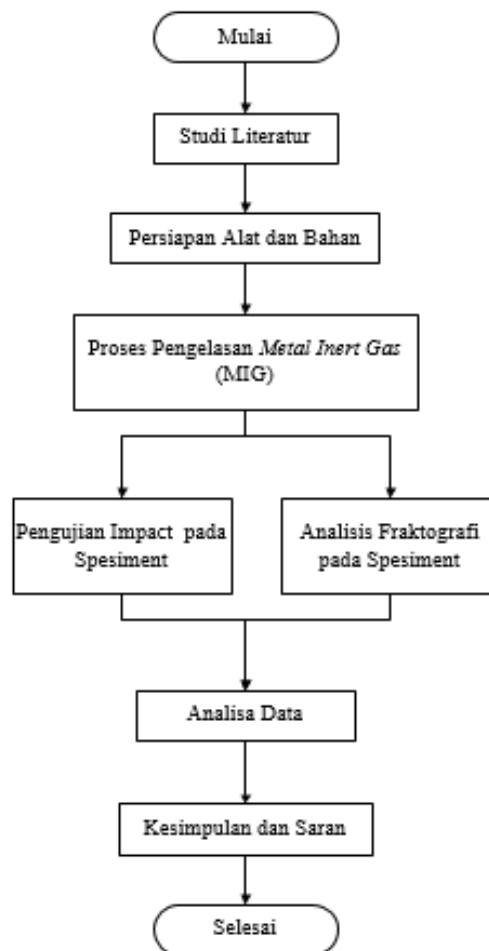
media pendingin yang mudah didapatkan serta ketersediaannya yang melimpah sedangkan untuk pendinginan media oli menggunakan limbah oli sepeda motor bekas [6]. Namun, pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) tidak selalu mudah dilakukan karena sifatnya yang reaktif terhadap oksigen, yang dapat menyebabkan terbentuknya oksida yang mengganggu kualitas pengelasan. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengoptimalkan parameter proses pengelasan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan meminimalkan cacat [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mencari berbagai kombinasi parameter proses MIG (*Metal Inert Gas*) untuk pengelasan baja, dengan fokus pada pengaruhnya terhadap kekuatan impact dan fraktografi [8]. Melalui analisis mendalam terhadap hasil pengujian, diharapkan dapat ditemukan hubungan antara parameter proses dengan karakteristik material yang dihasilkan dalam hal ini adalah uji impact dan analisis faktografi hasil pengelasan. Hasil dari studi ini dapat memberikan panduan berharga bagi praktisi industri dalam pengoptimalan proses pengelasan baja untuk mencapai sambungan yang lebih kuat dan efisien secara ekonomi [9].

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 MIG (*Metal Inert Gas*) Terhadap hasil pengujian impact dan analisis fraktografi [10].

C. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang perlu dilakukan untuk melakukan pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) juga pengujian impact dan pengujian fraktografi spesimen yaitu sebagai berikut.

1. Mesin Las MIG merk LAKONI TIPE MIG 160i

Mesin las MIG merk LAKONI TIPE MIG 160i pada penelitian ini digunakan untuk proses pengelasan dengan menyambungkan antar plat baja ASTM A36 dengan menggunakan elektroda fluxcore diameter 1 mm sehingga membentuk spesimen dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan [11]. Parameter yang dirubah dari mesin las yaitu kuat arusnya yaitu 80 A, 100 A, 120 A. Untuk tekanan Gas Argon konstan dimasing-masing spesimenya yaitu 0.15 Mpa dengan flow rate 10-15 L/menit.

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* [12].

3. Alat Uji Impact

Alat uji impact ini digunakan untuk mengetahui sifat ketangguhan suatu material baik dalam wujud liat maupun ulet serta getas. Dengan catatan bahwa apabila nilai atau harga impact semakin tinggi maka material tersebut memiliki keuletan yang tinggi. Dimana material uji dikatakan ulet jika patahan yang terjadi pada bidang patah tidak rata dan tampak berserat-serat. [13]. Nilai impact dipengaruhi temperatur Karena temperatur dapat mempengaruhi material uji maka dalam melakukan pengujian, sebaiknya dilakukan pada suhu kamar. Alat yang digunakan adalah charpy test. Ada dua jenis batang uji standar yang digunakan, yaitu tarikan berbentuk V dan U. Dalam pengujian ini menggunakan tarikan berbentuk V. Bentuk material yang digunakan tarik berbentuk V karena dapat melokalisir energi patahan [14].

Harga impact dapat dicari dengan persamaan :

$$E = W \cdot R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (1)$$

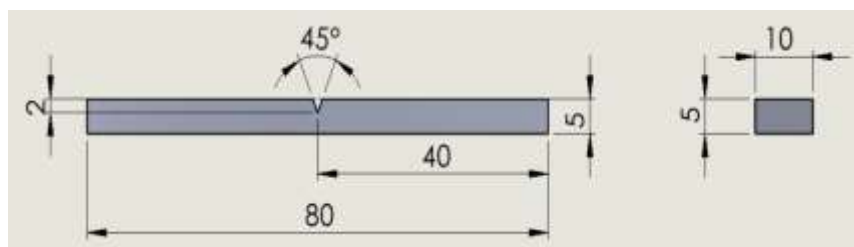
Dimana :

- E = Energi Impact yang terserap (*Joule*)
- W = Luas Penampang (mm^2)
- R = Radius (m)
- β = Sudut akhir ($^\circ$)
- α = Sudut awal ($^\circ$)

$$IS = \frac{E}{F} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

- IS = Nilai Impact (*Joule/mm²*)
- E = Energi Impact yang terserap (*Joule*)
- F = Luas Penampang (mm^2)



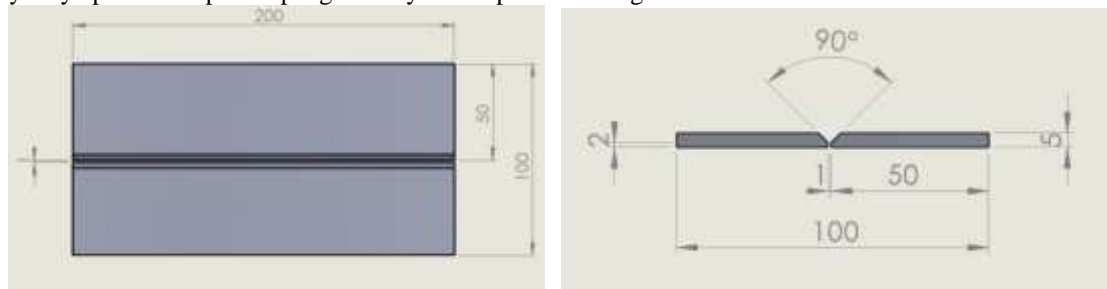
Gambar 2. Spesimen Uji Impact

4. Alat Ukur Sudut Digital

Pengujian analisa fraktografi harus membutuhkan alat khusus untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada hasil pengujiannya yaitu menggunakan alat ukur sudut digital dengan kapasitas pengukuran sudut 0-200 mm [15]. Alat dibawah ini bernama alat ukur sudut elektron genio meter yang digunakan untuk mengukur sudut patahan setelah dilakukan pengujian impact pada pengelasan MIG plat baja ASTM A36.

5. Plat Baja ASTM A36

Plat baja ASTM A36 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). desain plat aluminium

b). desain bentuk join pengelasan

Gambar 3. Dimensi Spesimen Pengelasan**D. Proses Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) pada Plat Baja ASTM A36**

Spesimen plat baja ASTM A36 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	Uji Impact (Joule/mm ²)	Analisis Faktografi (\leq°)
1	80	Air	-	-
2	80	Udara	-	-
3	80	Olie	-	-
4	100	Air	-	-
5	100	Udara	-	-
6	100	Olie	-	-
7	120	Air	-	-
8	120	Udara	-	-
9	120	Olie	-	-

Pada penelitian ini proses Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) dilakukan sebanyak 9 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah-langkah proses Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) :

1. Siapkan mesin las, elektroda, meja untuk pengelasan dan plat baja ASTM A36 yang akan digunakan.
2. Jig atau klem plat aluminium yang telah disiapkan untuk mencegah terjadinya proses pemuaihan pada plat.
3. Atur Parameter mesin las MIG 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 4.** Proses Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kekuatan Impact

Pengujian spicemen uji kekuatan Impak kali ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sifat ketangguhan suatu material baik dalam wujud liat maupun ulet serta getas. Dengan catatan bahwa apabila nilai atau harga impact semakin tinggi maka material tersebut memiliki keuletan yang tinggi. pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) ASTM A36 menggunakan pengujian impact type Charpy.

Berikut yaitu langkah-langkah pengujian impact :

1. Pasang spesimen ke landasan dengan takik di tengah, bagian takik di bagian dalam, sehingga pendulum membentur benda uji di sisi berlawanan dari sisi takik benda kerja uji.
2. Bandul setinggi H atau membentuk sudut^o (α)
3. Ubah posisi jarum ke skala yang lebih rendah pada angka nol.
4. Tarik LockHandle sehingga bandul lepas memukul benda uji, kemudian bandul tetap berayun miring (β)
5. Tarik Brake Handle, tahan agar pendulum berhenti
6. Catatan sudut β yang tertunjuk pada indikator
7. Setelah dulakukan pengujian ambil benda kerja untuk diukur luasan dimensi patahannya, teliti penampang patahan benda kerja dan gambarkan diidentifikasi jenis patahannya



Gambar 5. Pengujian Impak

Tabel 2. Hasil Pengujian kekuatan Impact dan Hasil Perhitungan kekuatan Impact

No. Spc	Kuat Arus (A)	Pendingin	E (Joule)	IS (Joule/mm ²)
1	80	air	46.061	0.576
2	80	udara	48.458	0.606
3	80	olie	35.951	0.449
4	100	air	38.363	0.480
5	100	udara	48.681	0.609
6	100	olie	33.766	0.422
7	120	air	27.874	0.348
8	120	udara	25.549	0.319
9	120	olie	36.976	0.462

Sesuai data pada Tabel 2. hasil pengujian Impact dapat disimpulkan bahwa dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen 5 dengan parameter kuat arus 100A menggunakan pendingin udara memperoleh hasil harga kekauan impact sebesar 0,609 Joule/mm² Nilai terendah ada pada spesimen 8 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin udara memperoleh hasil harga kekauan impact sebesar 0,319 Joule/mm².

B. Uji Fraktografi

Pengujian Fraktografi dilakukan dengan alat ukur sudut digital dengan kapasitas pengukuran sudut 0-200 mm. Berikut hasil dari pengujian fraktografi pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) plat baja ASTM A36.

1. Spesimen 1 (80 Ampere Pendingin Air)



Gambar 6. Fraktografi Impak Spesimen 1

Sesuai dengan **Gambar 6**. Berdasarkan parameter 80 Ampere dan pendingin air, hasil pengukuran sudut fraktografi impaknya adalah $60,2^\circ$.

2. Spesimen 6 (100 Ampere Pendingin Oli)



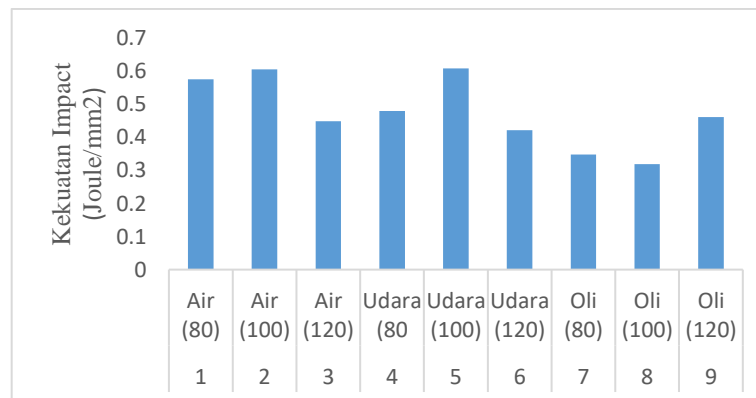
Gambar 7. Fraktografi Impak Spesimen 6

Sesuai dengan **Gambar 7**. Berdasarkan parameter 100 Ampere dan pendingin oli, hasil pengukuran sudut fraktografi impaknya adalah $94,3^\circ$.

C. Analisa dan Pembahasan Hasil kekuatan Impact dan Fraktografi Impact

Untuk memudahkan pemahaman pada data dari hasil kekuatan impact dan fraktografi impact dilakukan proses analisa pada hasil pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG). Tujuan analisa ini guna visualisasi yang lebih baik dan lebih mudah dimengerti.

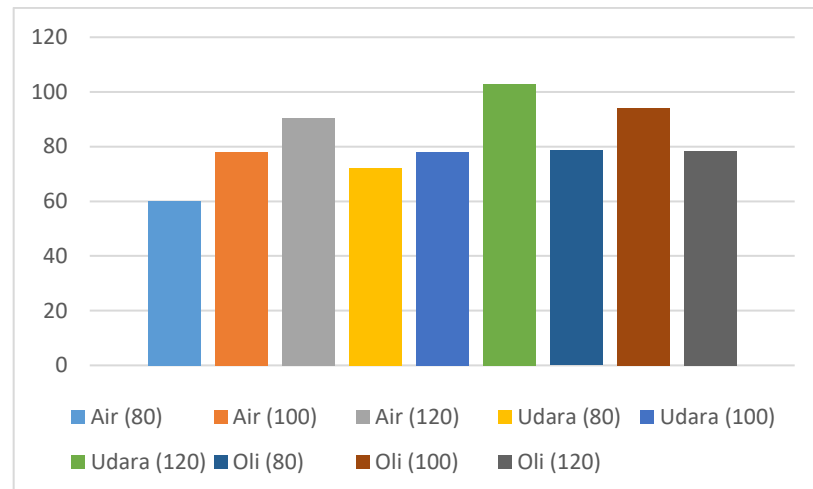
1. Grafik Hasil Uji Impact



Gambar 8. Grafik Uji Kekuatan Impact 9 Spesimen Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)

Berdasarkan pada uji Impact dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 5 dengan parameter kuat arus 100 Ampere dan pendingin udara memperoleh hasil harga kekuatan impact sebesar $0,609 \text{ Joule/mm}^2$. Nilai terendah ada pada spesimen 8 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin udara memperoleh hasil harga kekuatan impact sebesar $0,319 \text{ Joule/mm}^2$.

2. Grafik Hasil Uji Fraktografi Impact



Gambar 9. Grafik Uji Fraktografi Impact 9 spesimen pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)

Berdasarkan pada uji fraktografi impact dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 6 dengan parameter kuat arus 120 ampere dengan pendingin udara memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2° karena dengan kuat arus yang tinggi dan juga pendinginan udara yang waktu pendinginannya lama menjadikan hasil pengelasan menjadi lebih kuat dan ulet. Nilai terendah ada pada spesimen 1 dengan parameter pengelasan kuat arus 80 ampere dan pendingin air memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2° karena massa jenis air yang tinggi maka proses pendinginan menjadi cepat maka partikel pada pengelasan cenderung lebih renggang dan kekerasan menjadi rendah.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Analisa Pengaruh Kuat Arus Dan Media Pendingin Air, Oli, Udara Terhadap Kekuatan Impact Dan Faktografi Pada Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) Pada Plat Baja ASTM A36” dapat disimpulkan :

1. Berdasarkan pada uji kekuatan Impact dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 5 dengan parameter kuat arus 100 Ampere dan pendingin udara memperoleh hasil harga kekakuan impact sebesar $0,609 \text{ Joule/mm}^2$. Nilai terendah ada pada spesimen 8 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin udara memperoleh hasil harga kekakuan impact sebesar $0,319 \text{ Joule/mm}^2$.
2. Berdasarkan pada uji fraktografi impact dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 6 dengan parameter kuat arus 120 ampere dengan pendingin udara memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2° karena dengan kuat arus yang tinggi dan juga pendinginan udara yang waktu pendinginannya lama menjadikan hasil pengelasan menjadi lebih kuat dan ulet. Nilai terendah ada pada spesimen 1 dengan parameter pengelasan kuat arus 80 ampere dan pendingin air memperoleh hasil sudut fraktografi impact sebesar 60.2° karena massa jenis air yang tinggi maka proses pendinginan menjadi cepat maka partikel pada pengelasan cenderung lebih renggang dan kekerasan menjadi rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Program 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

- [1] W. Marthiana et al., "Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Pengelasan MIG Pada Material ST 37," *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 140-144, 2020.
- [2] I. N. Sihombing, S. Jokosiworo, and B. A. Adietya, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrografi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) Pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [3] R. Wurdhani, U. Budiarto, and W. Amiruddin, "Pengaruh Perlakuan Panas (Heat Treatment) Normalizing Terhadap Kekuatan Impak Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, pp. 70-78, 2020.
- [4] A. Sebayang, E. Tarigan, and L. Tarigan, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan 120 A, 130 A, 140 A, dan 150 A terhadap Kekuatan Tarik pada Material ST 37 dengan Metode Pengelasan Metal Inert Gas (MIG)," *Jurnal Pustaka Cendekia Hukum dan Ilmu Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 118-124, 2024.
- [5] Y. R. Fauzi and M. Arsyad, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment Proses Pengelasan MIG Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon AISI 1045," *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology*, vol. 3, no. 02, pp. 9-14, 2024.
- [6] D. S. Pamuji et al., "Efek Parameter Pengelasan terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Aluminium AA6061 dengan Proses Friction Stir Welding," hal. 424–435. 2022
- [7] A. F. Al Faridzi, "Ketahanan Baja Astm A36 Terhadap Pengujian Tarik Dan Bending Dengan Proses Pengelasan Smaw Dan Metalografi," *Rekayasa Sistem Energi dan Manufaktur (ReSEM)*, vol. 2, no. 2, pp. 109-118, 2024.
- [8] W. Fsw, T. Sifat, M. Dan, M. Pada, dan A. Paduan, *Pengaruh Kecepatan Feedrate Friction Stir*, no. November 2021. 2021.
- [9] R. H. Aruan, H. Pratikno, and Y. S. Hadiwidodo, "Analisis Pengaruh Suhu Material Pada Pengaplikasian Coating Epoxy Terhadap Kekuatan Adhesi Baja A36," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 1, pp. F34-F40, 2023.
- [10] Setiawan, A. Penelitian Stainless Steel 304 Terhadap Pengaruh Pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) Untuk Variasi Arus 50 A, 100 A dan 160 A Dengan Uji Komposisi Kimia, Uji Struktur Mikro, Uji Kekerasan Dan Uji Impact (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta). 2019.
- [11] Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M. Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 14, 10-21070. 2021.
- [12] Wardana, A. I., & Mulyadi, M. Analysis of Underwater Friction Stir Welding (UFSW) Process Joint on AA6005-T6 Series Aluminium Alloy on Tensile Strength and Macro Structure: Analisa Sambungan Proses Underwater Friction Stir Welding (UFSW) pada Paduan Aluminium Seri AA6005-T6 terhadap Kuat Tarik dan Struktur Makro. 2023.
- [13] Subkhan, M. F., & Mulyadi, M. Confirmation Experiment of Friction Stir Welding Process on Aluminum Alloy Aa-6061-T6561 on Tensile Strength and Weld Penetration: Eksperimen Konfirmasi Proses Friction Stir Welding pada Material Alumunium Alloy Aa-6061-T6561 Terhadap Kekuatan Tarik dan Penetrasi Las. 2023.
- [14] M. A. I. Muslim and Iswanto, "Pengaruh Parameter Pengelasan Pada Friction Stir Welding Terhadap Sifat Mekanik Polimer Jenis Polyethylene," *Progr. Stud. Tek. Mesin, Univ. Muhammadiyah Sidoarjo*, pp. 1–9, 2023.
- [15] Mulyadi, R. Firdaus, and R. S. Untari, "Optimization of Friction Stir Welding Parameters for AA6061-T651 Aluminum Alloy: Defect Analysis and Process Improvement," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, pp. 1–13, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665. 2023.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.