

# ***Analysis of Hardness and Microstructure Tests on ASTM A36 Steel Plates for MIG Welding with Water, Oil and Air Cooling Variables*** **[Analisa Uji Kekerasan Dan Struktur Micro Pada Plat Baja ASTM A36 Terhadap Pengelasan MIG Dengan Variabel Pendingin Air, Oli, Dan Udara]**

Muhammad ‘Athif Istighfarian<sup>1)</sup>, Mulyadi<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [mulyadi@umsida.ac.id](mailto:mulyadi@umsida.ac.id)

**Abstract.** *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 welding process parameters to improve joint quality and minimize defects. This study aims to obtain various combinations of MIG (Metal Inert Gas) process parameters for steel welding with variations in current strength and coolant, with a special focus on their effect on the results of microstructure and Vickers hardness tests. The research method involves welding with variations in current strength and coolant, followed by Vickers hardness (HV) testing and microstructure analysis. The results of Vickers hardness (HV) and microstructure tests from 9 specimens showed the highest hardness value in specimen 4 with a current strength of 100A using water coolant, producing an average hardness of 297.5 HV. Rapid cooling with water and low welding currents produce welds with tighter particles and minimal defects, with a microstructure dominated by martensite, ferrite, and pearlite. On the other hand, the lowest hardness value in specimen 9 with a current strength of 120A using water cooling, produces an average of 281.2 HV because the cooling process is slower and the current is too high causing more welding defects. The microstructure of this specimen also shows ferrite, and pearlite dominates over martensite, these welding parameters produce less than optimal mechanical properties, such as lower strength, ductility, and wear resistance.*

**Keywords -** Metal Inert Gas (MIG), ASTM A36 Steel Plate, Hardness, Microstructure

**Abstrak.** *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 mendapatkan berbagai kombinasi parameter proses MIG (Metal Inert Gas) untuk pengelasan baja dengan variasi kuat arus dan pendingin, dengan fokus khusus pada pengaruhnya terhadap hasil pengujian mikrostruktur dan kekerasan vikers. Metode penelitian melibatkan pengelasan dengan variasi kuat arus dan pendingin, diikuti dengan pengujian kekerasan vikers (HV) dan analisis mikrostruktur. Hasil pengujian kekerasan Vickers (HV) dan mikrostruktur dari 9 spesimen menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 4 dengan kuat arus 100A pendingin air, menghasilkan rata-rata kekerasan 297,5 HV. Pendinginan cepat dengan air dan rendahnya arus pengelasan menghasilkan pengelasan dengan partikel lebih erat dan minim cacat, dengan struktur mikro didominasi martensit, ferit, dan perlit. Sebaliknya, nilai kekerasan terendah pada spesimen 9 dengan kuat arus 120A pendingin air, menghasilkan rata-rata 281,2 HV karena proses pendinginan lebih lambat dan arus terlalu tinggi menyebabkan cacat las lebih banyak. Struktur mikro spesimen ini menunjukkan ferit, dan perlit yang mendominasi dari pada martensit, parameter pengelasan ini menghasilkan sifat mekanik yang kurang optimal, seperti kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus yang lebih rendah.*

**Kata Kunci –** Metal Inert Gas (MIG), Plat Baja ASTM A36, Uji Kekerasan, Mikrostruktur.

## **I. PENDAHULUAN**

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, kontruksi 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].

Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) tidak selalu mudah dilakukan karena sifatnya yang reaktif terhadap oksigen, yang dapat menyebabkan terbentuknya oksida yang mengganggu kualitas pengelasan [4]. Oleh karena itu, penting untuk mempelajari dan mengoptimalkan parameter proses pengelasan untuk meningkatkan kualitas sambungan dan meminimalkan cacat [5]. 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 [6]. Cacat pengelasan 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. Cacat pengelasan yang terjadi tersebut sering sekali tidak disadari bahkan sesaat setelah dilapisi coating. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengetahui retak tersebut yaitu menggunakan metode Magnetic Particle Inspection (MPI) [7].

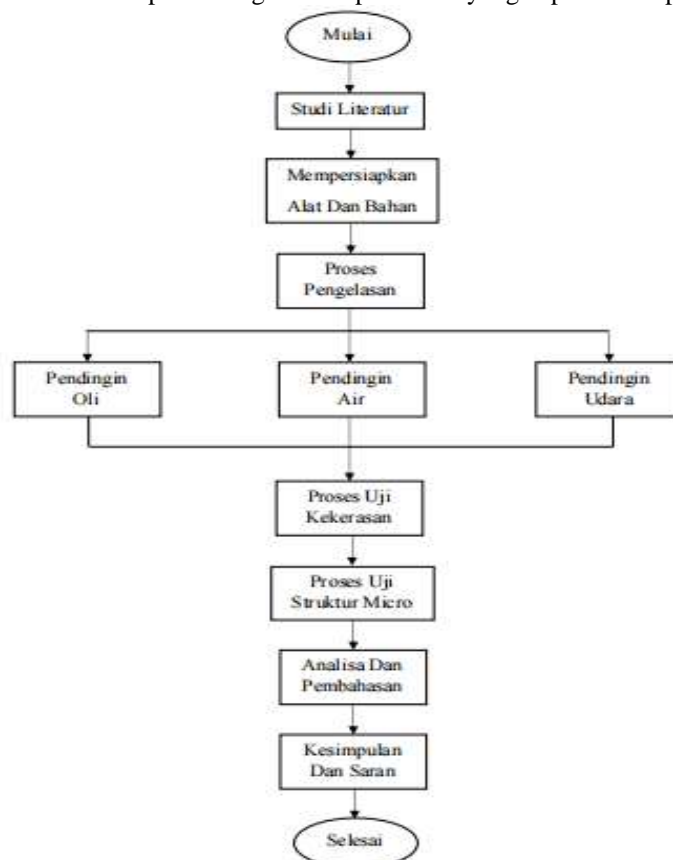
Salah satu cara untuk memperbaiki sifat dan mekanis suatu bahan ialah melalui proses pendinginan (*refrigasi*) [8]. Oleh karena itu dilakukan penelitian pengelasan menggunakan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan metode pendinginan air, oli, dan udara pada material plat ASTM A36. Melalui proses ini apakah metode pendinginan menggunakan air, oli, dan udara dapat mempengaruhi hasil pengujian kekerasan dan mikrostruktur pada material tersebut [9].

Berdasarkan uraian diatas, penulis mengambil judul “Analisa Uji Kekerasan Dan Struktur Micro Pada Plat Baja ASTM A36 Terhadap Pengelasan MIG Dengan Variabel Pendingin Air, Oli, Dan Udara”. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter proses MIG (*Metal Inert Gas*) untuk pengelasan baja, dengan fokus khusus pada pengaruhnya terhadap hasil pengujian kekerasan dan mikrostruktur. Melalui analisis mendalam terhadap hasil pengujian, diharapkan dapat ditemukan hubungan antara parameter proses dengan karakteristik material yang dihasilkan dalam hal ini adalah pengujian kekerasan dan mikrostruktur pada zona las. Hasil dari studi ini dapat memberikan panduan berharga bagi praktisi industri dalam pengoptimalan proses pengelasan baja besi 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 MIG (*Metal Inert Gas*) Terhadap hasil pengujian kekerasan dan mikrostruktur [10].

## C. Persiapan Alat dan Bahan

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

### 1. Mesin Las MIG (*Metal Inert Gas*)

Mesin las MIG (*Metal Inert Gas*) dapat dilihat pada **Gambar 2**. 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 spesimennya yaitu 0.15 Mpa dengan flow rate 10-15 L/menit.



**Gambar 2.** Mesin Las MIG (*Metal Inert Gas*)

### 2. Mesin CNC Milling

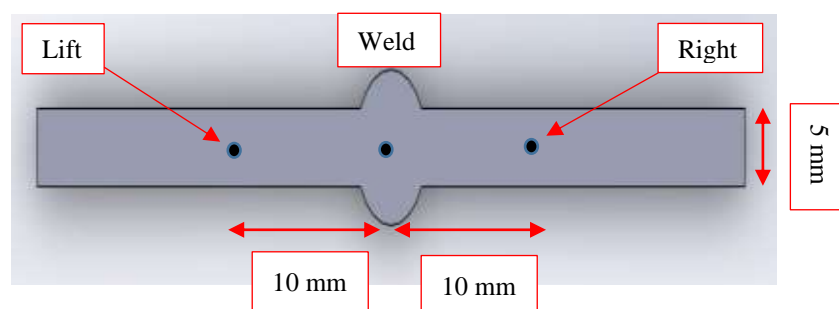
Mesin CNC *milling* yang dipakai penelitian disini yaitu memiliki 3 axis yang berfungsi untuk melakukan pemotongan spesimen penggunaan mesin cnc milling harus memiliki program yang telah dibuat sebelumnya di aplikasi *Solidwork* [12] dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Mesin CNC Milling

### 3. Alat Uji Kekerasan

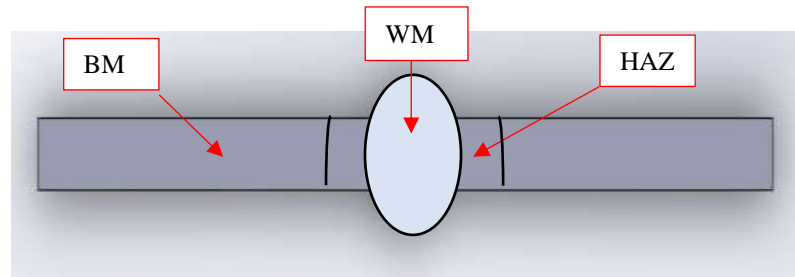
Uji kekerasan las adalah satu dari banyaknya proses pengujian yang di pakai dalam pengelasan, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Dengan memberikan beban menggunakan indenter ke dalam permukaan untuk mengetahui material kekerasan dari suatu metal diukur [13] dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Zone Uji Kekerasan




#### 4. Alat Uji Mikrostruktur

Pengujian metalografi dapat dilihat pada **Gambar 5**. Membutuhkan alat khusus untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada mikrostruktur yaitu menggunakan mikroskop yang mampu melakukan pembesaran hingga 100x [14]. Alat dibawah ini bermerk OLYMPUS BX53M yang digunakan untuk melihat stuktur mikro pada plat baja ASTM A36.



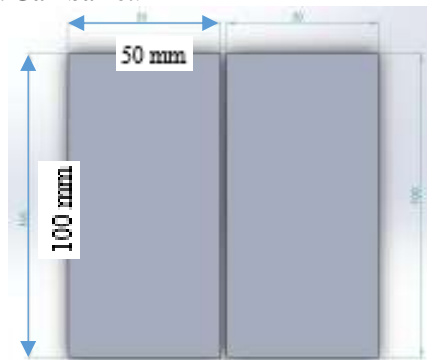
**Gambar 5.** Zone Uji Mikrostruktur

Detail Joint :

1.  : Pearite
2.  : Martensite
3.  : Ferrite

#### 5. Plat Baja ASTM A36

Plat baja ASTM A36 adalah bahan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan kampuh V. Sesuai dengan banyaknya parameter proses pengelasan yaitu 9 spesimen dengan dimensi 100 mm x 50 mm x 5 mm dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Plat Baja ASTM A36

#### 6. Kertas Gosok

Kertas gosok disini digunakan pada proses poles dan grinding. Pada penelitian ini digunakan kertas gosok ukuran 5000.

#### 7. Cairan Etching

Cairan kimia untuk *etching* digunakan untuk mengikis permukaan supaya struktur makro dapat dilihat. Komposisi cairan *etching* yang digunakan disebut komposisi keller's yaitu 2 ml hf, 3 ml hcl, 5 ml hno<sub>3</sub>, dan 190 ml h<sub>2</sub>o [15].

#### a) Desain Eksperimen 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	Kekerasan Vickers hardness (HV)	Mikro Struktur
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.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

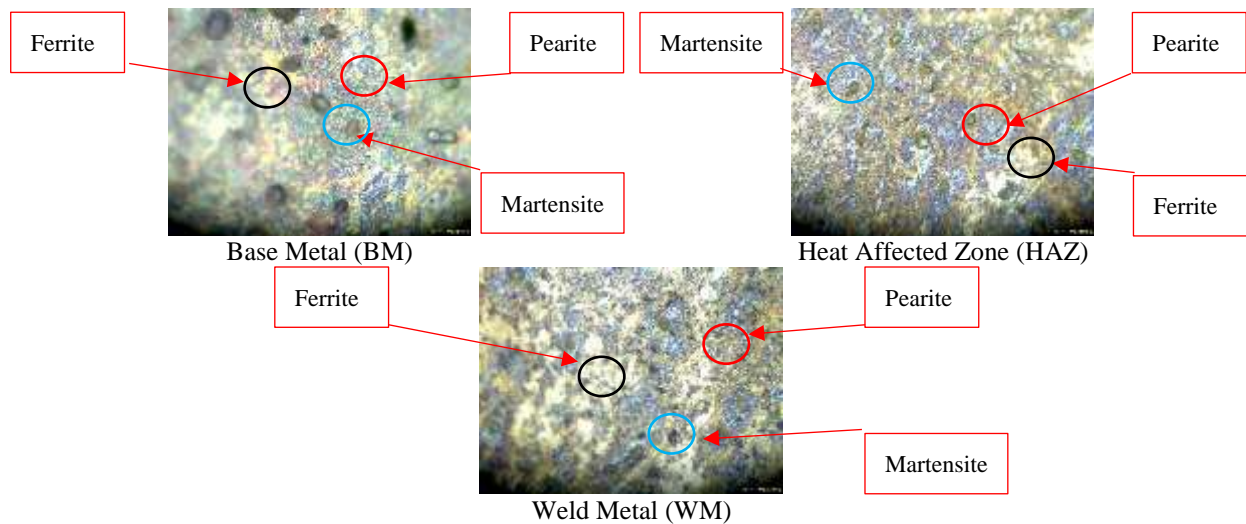
#### A. Uji Mikrostruktur

Pengujian Mikrostruktur dilakukan pada 9 spesimen pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan menggunakan variasi ampere dan variasi pendingin air, udara dan oli. Pengujian Mikrostruktur menggunakan alat Mikroskop Optik menggunakan mikroskop 100 x. Berikut dibawah ini merupakan hasil dari pengambilan makrostruktur pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) pada material baja ASTM A36.



**Gambar 7.** Hasil Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG)

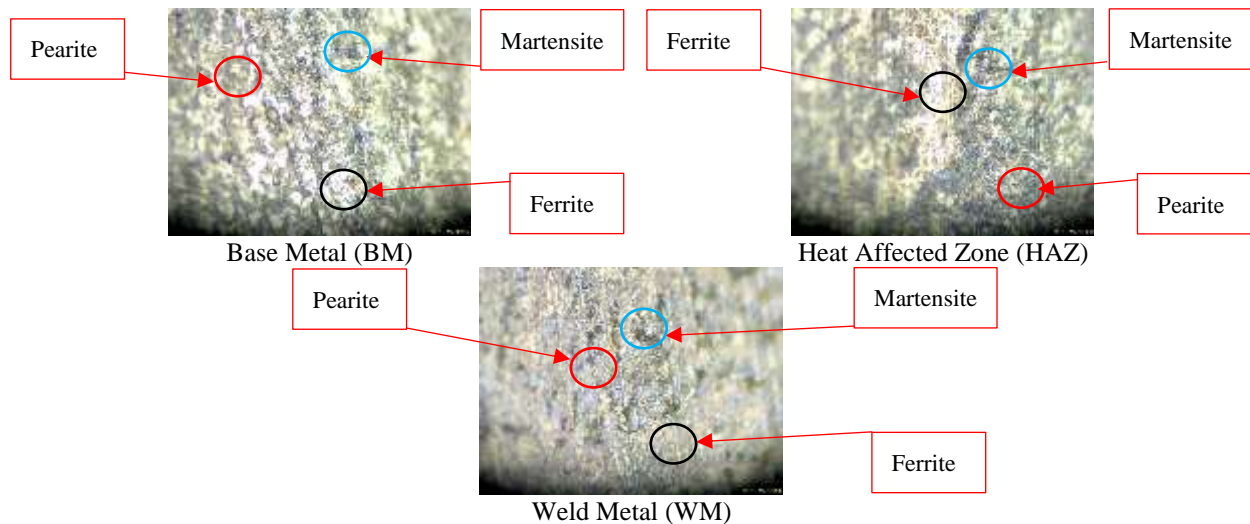
## 1. Spesimen 4 (100 Ampere Pendingin Air)



Gambar 8. Mikrostruktur Spesimen 4

Pada **Gambar 8**. Parameter proses pengelasan 80 Ampere dan pendingin air hasil mikrostrukturnya memiliki komposisi *martensite*, *ferrite* dan *pearlite*. Pada daerah *Base metal* terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi, pada daerah HAZ terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi dan pada daerah *weld metal* terdapat *martensite* yang sedikit dari pada *ferrite* dan *pearlite*. Parameter proses pengelasan tersebut memiliki sifat mekanik (kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus) yang baik. Serta pada parameter proses tersebut jarang ditemuinya cacat las yang berarti.

## 2. Spesimen 9 (120 Ampere Pendingin Oli)



Gambar 9. Mikrostruktur Spesimen 9

Pada **Gambar 9**. Parameter proses pengelasan 120 Ampere dan pendingin oli hasil mikrostrukturnya memiliki *martensite*, *ferrite* dan *pearlite*. Pada daerah *Base metal* terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi, kemudian pada daerah HAZ terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi dan pada *weld metal* terdapat *martensite* yang sedikit dari pada *ferrite* dan *pearlite*. Parameter proses pengelasan tersebut memiliki sifat mekanik (kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus) yang kurang baik. Serta pada parameter proses tersebut banyaknya cacat las yang terjadi dikarenakan kuat arus yang terlalu besar.

## B. Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini dilakukan pada 9 spesimen pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) dengan menggunakan variasi ampere dan variasi pendingin air, udara dan oli. Uji kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan pengelasan pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) pada plat baja ASTM A36 menggunakan unit pengukuran kekerasan Vikers (HV).



Gambar 10. Alat Uji Kekerasan

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Vikers Hardness (HV)

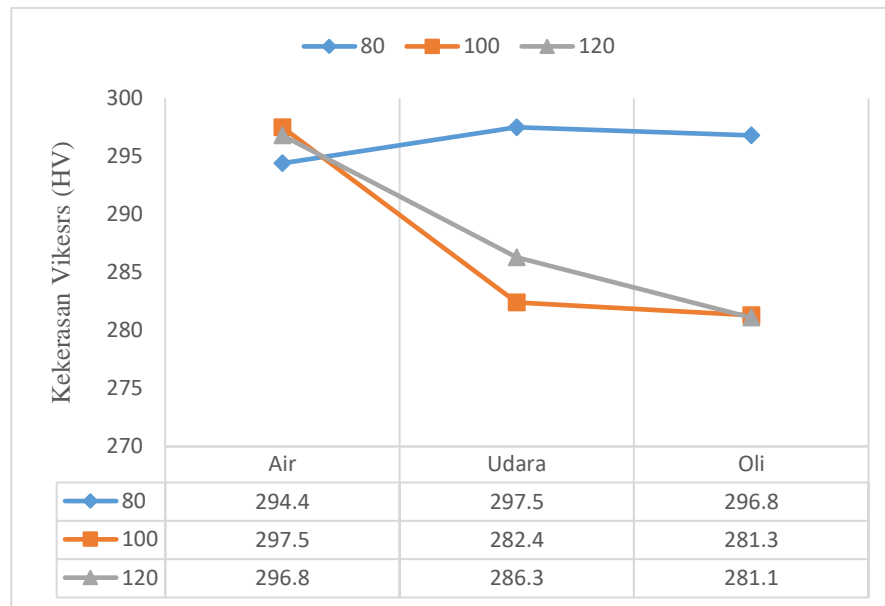
No. Spc	Kuat Arus (A)	Pendingin	Kekerasan Vikers Hardness (HV)			
			Left	Weld	Right	Rata-rata
1	80	Air	283.2	317	283.2	294.4
2	80	Udara	2811.7	286.5	2811.7	283.3
3	80	Oli	278.7	293.8	278.7	283.7
4	100	Air	284.8	323	284.8	297.5
5	100	Udara	278.7	290	278.7	282.4
6	100	Oli	277	290	277	281.3
7	120	Air	280.2	330	280.2	296.8
8	120	Udara	281.7	395.7	281.7	286.3
9	120	Oli	276	291.8	276	281.2

Sesuai data pada **Tabel 2**, hasil pengujian kekerasan vikers dapat disimpulkan bahwa dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen 4 dengan parameter kuat arus 100A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 297.5 HV karena oli memiliki titik didih tinggi yaitu 100°C dan massa jenis air yang rendah sehingga proses pendinginannya cepat untuk proses pendinginan oli menjadi media pendingin yang sangat baik sehingga partikel pada pengelasan menjadi lebih erat dan keras. Serta arus pengelasan yang rendah menjadikan spesimen pengelasan menjadi sedikitnya cacat pada pengelasan.

Nilai terendah ada pada spesimen 9 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 281,2 HB karena nilai titik didih air 400°C dan massa jenis air yang tinggi maka proses pendinginan menjadi lama maka partikel pada pengelasan cenderung lebih renggang dan kekerasan menjadi rendah. Serta arus pengelasan yang terlalu tinggi menjadikan spesimen pengelasan menjadi banyak cacat pada pengelasan.

## C. Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekerasan Vikers (HV) dan Uji Mikrostruktur

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



**Gambar 11.** Grafik Hasil Uji Kekerasan Vickers Hardnes (HV) dan Mikrostruktur

Berdasarkan pada **Gambar 11.** Grafik hasil pengujian kekerasan Vickers (HV) dan uji mikrostruktur dari 9 spesimen dengan parameter proses yang di uji diperoleh nilai tertinggi pada spesimen spesimen 4 dengan parameter kuat arus 100A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 297.5 HV karena oli memiliki titik didih tinggi yaitu 100°C dan massa jenis air yang rendah sehingga proses pendinginannya cepat untuk proses pendinginan oli menjadi media pendingin yang sangat baik sehingga partikel pada pengelasan menjadi lebih erat dan keras. Serta arus pengelasan yang rendah menjadikan spesimen pengelasan menjadi sedikitnya cacat pada pengelasan, kemudian pada struktur mikronya memiliki komposisi *martensite*, *ferrite* dan *pearlite*. Pada daerah *Base metal* terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi, pada daerah HAZ terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi dan pada daerah *weld metal* terdapat *martensite* yang sedikit dari pada *ferrite* dan *pearlite*. parameter proses pengelasan tersebut memiliki sifat mekanik (kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus) yang baik. Serta pada parameter proses tersebut jarang ditemuinya cacat las yang berarti.

Nilai terendah ada pada spesimen 9 dengan parameter kuat arus 120A menggunakan pendingin Air memperoleh hasil kekerasan dengan rata-rata 281,2 HB karena nilai titik didih air 400°C dan massa jenis air yang tinggi maka proses pendinginan menjadi lama maka partikel pada pengelasan cenderung lebih renggang dan kekerasan menjadi rendah. Serta arus pengelasan yang terlalu tinggi menjadikan spesimen pengelasan menjadi banyak cacat pada pengelasan. Kemudian pada struktur mikronya memiliki *martensite*, *ferrite* dan *pearlite*. Pada daerah *Base metal* terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi, kemudian pada daerah HAZ terdapat sedikit *martensite*, *ferrite* dan *pearlite* yang mendominasi dan pada *weld metal* terdapat *martensite* yang sedikit dari pada *ferrite* dan *pearlite*. Parameter proses pengelasan tersebut memiliki sifat mekanik (kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus) yang kurang baik. Serta pada parameter proses tersebut banyaknya cacat las yang terjadi dikarenakan kuat arus yang terlalu besar.

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Analisa Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Plat Baja ASTM A36 Terhadap Pengelasan MIG Dengan Variabel Pendingin Air, Oli, Dan Udara” dengan ini dapat diambil kesimpulan yaitu Hasil pengujian kekerasan Vickers (HV) dan mikrostruktur dari 9 spesimen menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada spesimen 4 dengan kuat arus 100A menggunakan pendingin air, menghasilkan rata-rata kekerasan 297,5 HV. Pendinginan cepat dengan air dan rendahnya arus pengelasan menghasilkan pengelasan dengan partikel yang lebih erat dan minim cacat, dengan struktur mikro yang didominasi martensit, ferit, dan perlit. Sebaliknya, nilai kekerasan terendah ditemukan pada spesimen 9 dengan kuat arus 120A menggunakan pendingin air, menghasilkan rata-rata 281,2 HV karena proses pendinginan lebih lambat dan arus yang terlalu tinggi menyebabkan cacat las yang lebih banyak. Struktur mikro spesimen ini juga menunjukkan martensit, ferit, dan perlit, namun parameter pengelasan ini menghasilkan sifat mekanik yang kurang optimal, seperti kekuatan, keuletan, dan ketahanan aus yang lebih rendah.

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

## 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

- [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. Adiyta, "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.
- [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. 2024.
- [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. (2016). 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).
- [11] Soleh, M. Z. A., & Mulyadi, M. (2021). Design and Build JIG Design on Friction Stir Welding Using Fillet Connection on AA6061-T6 Material. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 14, 10-21070.
- [12] Wardana, A. I., & Mulyadi, M. Analysis of Underwater Friction Stir Welding (UFSW) Process Joint on AA6005-T6 Series Alumunium 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.
- [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.
- [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, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.6665.

### **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.*