

The Effect of Current Strength on Dissimilar Metal Welding (DMW) between Carbon Steel and Stainless Steel on Tensile Strength and Macrostructure

[Pengaruh Kuat Arus pada Dissimilar Metal Welding (DMW) antara Baja Karbon dan Stainless Steel Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Makro]

Dhimas Wahyu Dwi Septian¹⁾, Mulyadi²⁾

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

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

Abstract. *Welding is a common material joining process used in various industries, such as automotive, construction, and shipping. In some applications, the combination of two different metals (dissimilar metals), such as carbon steel and stainless steel, is required to optimize strength, corrosion resistance, and cost efficiency. Carbon steel is known to be strong and economical, while stainless steel is resistant to corrosion. This study uses the Dissimilar Metal Welding (DMW) welding method with stainless steel electrodes. After welding, the specimens were cut using a CNC machine and tested through Tensile and macrostructure tests. The tensile test results showed the highest stress of 369.342 Kgf/mm² on the specimen with a current of 90A and water cooling, while the lowest stress was 116.036 Kgf/mm² at a current of 70A with air cooling. The highest strain value of 0.039 occurred at 90A current with water cooling, the lowest stress value of 0.017 in the 80A current strength specimen with water cooling and the highest elastic modulus of 11,610 Kgf/mm² at 90A current with air cooling, the lowest 6,107 Kgf/mm² in the 70A current strength specimen with air cooling. Macro testing showed that the best specimen was with 90A parameters and air cooling because it was free of defects, while the worst specimen was with 70A parameters and water cooling which had defects such as arc strike, underfill, porosity, and slag inclusion due to the current being too low.*

Keywords - Dissimilar Metal Welding (DMW), Carbon Steel, Stainless Steel.

Abstrak. *Pengelasan merupakan proses penyambungan material yang umum digunakan di berbagai industri, seperti otomotif, konstruksi, dan perkapalan. Dalam beberapa aplikasi, penggabungan dua logam berbeda (dissimilar metal), seperti baja karbon dan stainless steel, diperlukan untuk mengoptimalkan kekuatan, ketahanan korosi, serta efisiensi biaya. Baja karbon dikenal kuat dan ekonomis, sedangkan stainless steel tahan terhadap korosi. Penelitian ini menggunakan metode pengelasan Dissimilar Metal Welding (DMW) dengan elektroda stainless steel. Setelah pengelasan, spesimen dipotong menggunakan mesin CNC dan diuji melalui uji Tarik dan makrostruktur. Hasil pengujian tarik menunjukkan tegangan tertinggi sebesar 369,342 Kgf/mm² pada spesimen dengan arus 90A dan pendingin air, sedangkan tegangan terendah 116,036 Kgf/mm² pada arus 70A dengan pendingin udara. Nilai regangan tertinggi 0,039 terjadi pada arus 90A dengan pendingin air, nilai tegangan terendah 0,017 pada spesimen kuat arus 80A dengan pendingin udara dan modulus elastisitas tertinggi 11.610 Kgf/mm² pada arus 90A dengan pendingin air, terendah 6.107 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 70A dengan pendingin udara. Pengujian makro menunjukkan bahwa spesimen terbaik adalah dengan parameter 90A dan pendingin udara karena bebas cacat, sedangkan spesimen terburuk adalah dengan parameter 70A dan pendingin air yang memiliki cacat seperti arc strike, underfill, porositas, dan slag inclusion akibat arus terlalu rendah.*

Kata Kunci – Dissimilar Metal Welding (DMW), Baja Karbon, Stainless Steel.

I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan material yang sering digunakan dalam berbagai industri, seperti otomotif, konstruksi, dan perkapalan, karena kemampuannya untuk menggabungkan logam secara permanen [1]. Dalam aplikasi tertentu, seringkali diperlukan penggabungan dua material yang berbeda (*dissimilar metal*) guna mengoptimalkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, serta biaya produksi [2]. *Dissimilar Metal Welding* (DMW) adalah pengelasan dengan dua logam dasar yang berbeda. *dissimilar metal* sering digunakan untuk menyambung material baja tahan karat dengan material yang lain. Hal tersebut juga sering digunakan karena perubahan sifat mekanik atau performa yang dibutuhkan. Salah satu kombinasi dissimilar metal yang banyak digunakan adalah baja karbon dan stainless steel. Baja karbon memiliki kekuatan yang baik serta biaya yang lebih rendah, sedangkan stainless steel memiliki ketahanan yang unggul terhadap korosi, sehingga penggabungan keduanya menawarkan karakteristik yang saling melengkapi untuk aplikasi di lingkungan yang ekstrem [3].

Namun, pengelasan *dissimilar metal* seperti baja karbon dan stainless steel memiliki tantangan tersendiri [4]. Perbedaan komposisi kimia, titik leleh, serta sifat fisik kedua logam tersebut dapat menimbulkan masalah dalam proses pengelasan, seperti ketidak sempurnaan pada sambungan dan munculnya retakan akibat tegangan termal [5]. Penggunaan elektroda stainless steel dalam pengelasan dissimilar metal ini diharapkan dapat mengurangi masalah yang timbul dan memperbaiki kualitas sambungan dengan memperbaiki distribusi elemen paduan pada area las [6].

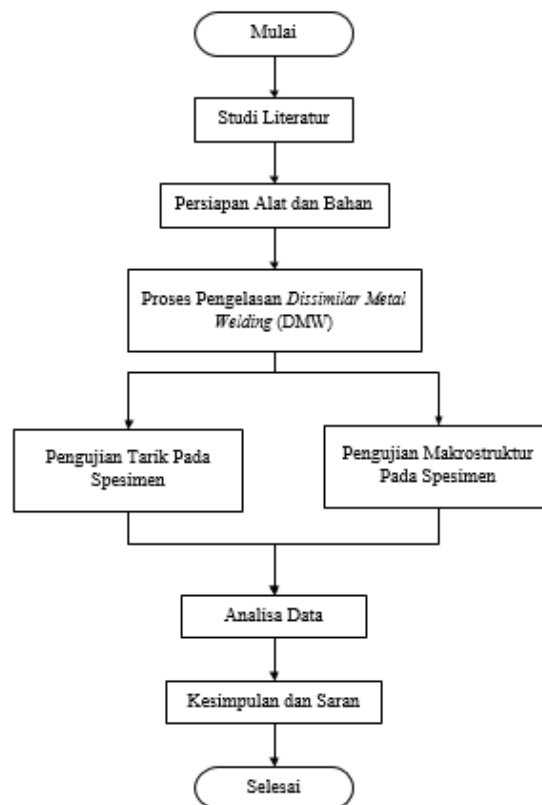
Penelitian ini akan berfokus pada analisis kekuatan sambungan pengelasan antara baja karbon dan stainless steel menggunakan elektroda stainless steel [7]. Parameter seperti kekuatan tarik dan struktur makro pada sambungan pengelasan akan dianalisis untuk mengevaluasi kualitas pengelasan [8]. Dengan melakukan penelitian ini, diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh penggunaan elektroda stainless steel dalam pengelasan dissimilar metal antara baja karbon dan stainless steel, serta faktor-faktor yang memengaruhi kekuatan dan kualitas sambungan yang dihasilkan [9].

II. METODE

Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan eksperimen untuk mengetahui kekuatan dan kualitas sambungan pengelasan dissimilar metal antara baja karbon dan stainless steel menggunakan elektroda stainless steel. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan pemilihan material baja karbon dan stainless steel yang cocok untuk pengelasan menggunakan teknik *Dissimilar Metal Welding (DMW)* [10]. Parameter proses yang signifikan seperti arus pengelasan dan jenis pendingin dipelajari dengan seksama dalam variasi yang terkontrol. Setelah pengelasan selesai, dilakukan proses pemotongan menjadi bentuk spesimen dengan mesin CNC dilakukan pengukuran kekerasan material aluminium dengan uji tarik dan uji makro, data yang dihasilkan kemudian dianalisis statistik untuk mengidentifikasi hubungan parameter proses pengelasan *Dissimilar Metal* dengan karakteristik mekanis sambungan pengelasan baja karbon dan stainless steel [11]. Metode ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendalam tentang optimalisasi proses pengelasan *Dissimilar Metal* untuk meningkatkan kualitas sambungan baja dalam berbagai aplikasi industri. Langkah-langkah secara detail proses penelitiannya adalah sebagai berikut:

A. Diagram Alir Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam proses penyusunan penelitian ini digambarkan secara sistematis dalam diagram alir (*flowchart*). Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

B. Studi Literatur

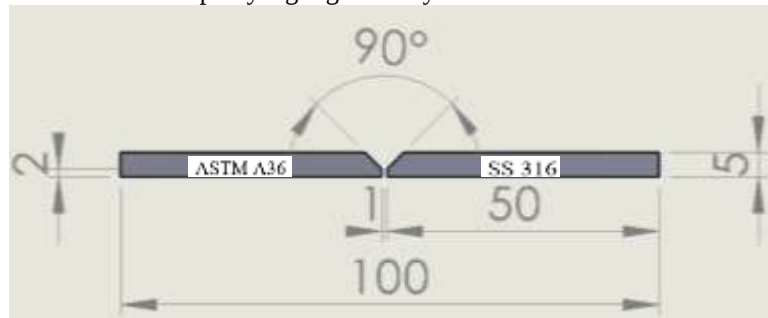
Studi literatur ini dilakukan sebagai tahap awal dan juga sebagai landasan materi dengan mempelajari beberapa referensi dari jurnal, artikel, buku, tugas akhir yang berkaitan, pengamatan secara langsung di lapangan, juga dari media internet, dan diskusi dengan dosen pembimbing yang ada kaitannya dengan besar perencanaan tinjauan parameter pengelasan DMW (*Dissimilar Metal Welding*) Terhadap hasil pengujian kekuatan tarik dan makrostruktur [12].

C. Persiapan Material dan Peralatan

Persiapan alat dan bahan yang perlu dilakukan untuk melakukan pengelasan DMW (*Dissimilar Metal Welding*) juga pengujian kekuatan tarik dan makrostruktur spesimen yaitu sebagai berikut.

1. Plat Baja ASTM A36 dan Plat Stainless Steel 316

Material yang digunakan untuk proses pengelasan *Dissimilar Metal* digunakan yaitu baja karbon ASTM A36 dan stainless steel 316. Dimensi plat yang digunakan yaitu 120 x 50 x 5 mm.



Gambar 2. Material Property *Dissimilar Metal Welding*

2. Mesin Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Mesin las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) pada penelitian ini digunakan untuk proses pengelasan dengan menyambungkan antar plat baja ASTM A36 dengan Plat Stainless Steel 316 menggunakan elektroda stainless steel diameter 2,5 mm, sehingga membentuk spesimen dengan menggunakan parameter yang telah ditentukan [13]. Parameter yang dirubah dari mesin las yaitu kuat arusnya yaitu 70 A, 80 A, 900 A.



Gambar 3. Mesin las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

3. Elektroda Stainless Steel

Elektroda stainless steel adalah kawat las yang digunakan untuk mengelas baja tahan karat. Elektroda ini dirancang khusus untuk jenis baja tahan karat tertentu. Pada penelitian ini elektroda digunakan sebagai penyambung antara plat baja ASTM A36 dengan Plat Stainless Steel 316 [14]. Elektroda stainless steel yang digunakan diameter 2,5 mm.



Gambar 4. Elektroda Stainless Steel

4. Mesin CNC Milling

Mesin CNC *milling* yang dipakai penelitian ini memiliki 3 axis yang berfungsi untuk melakukan pemotongan spesimen penggunaan mesin cnc milling harus memiliki program yang telah dibuat sebelumnya di aplikasi *Solidwork*.



Gambar 5. Mesin CNC Milling

5. Alat Uji Kekuatan Tarik

Uji tarik pengelasan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan letak putusnya sambungan las. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang paling sering dilakukan untuk mengetahui sifat suatu material. Prinsip kerja uji tarik adalah memberikan beban pada spesimen secara bertahap hingga terjadi kegagalan atau kerusakan. Selama pengujian, dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan [15].



Gambar 6. Alat Uji Kekuatan Tarik

6. Alat Uji Metalografi

Pengujian metalografi harus membutuhkan alat khusus untuk mendapatkan hasil yang maksimal pada makrostruktur yaitu menggunakan mikroskop yang mampu melakukan pembesaran hingga 50x [5]. Alat dibawah ini bermerk OLYMPUS BX53M yang digunakan untuk melihat stuktur makro pada plat baja ASTM A36.



Gambar 7. Mikroskop Uji Metalografi

D. Proses Pengelasan *Dissimilar Metal Welding* (DMW)

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. Parameter Proses pengelasan *Dissimilar Metal Welding*.

No, spc	Kuat Arus (A)	Pendingin	Uji Kekuatan Tarik	Uji Makrostruktur
1	70	air	-	-
2	70	Udara	-	-
3	70	Oli	-	-
4	80	Air	-	-
5	80	Udara	-	-
6	80	Oli	-	-
7	90	Air	-	-
8	90	Udara	-	-
9	90	Oli	-	-

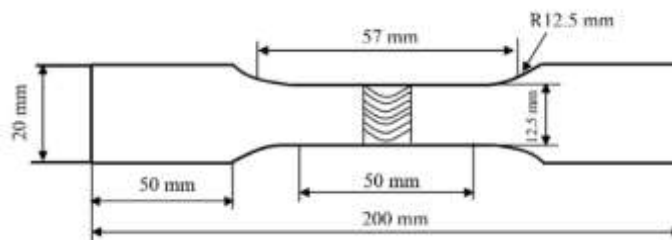
Pada penelitian ini proses Pengelasan *Dissimilar Metal Welding* (DMW) dilakukan sebanyak 9 kali dengan perbedaan parameter yang telah ditentukan. Berikut adalah langkah –langkah proses Pengelasan *Dissimilar Metal Welding* (DMW) :

1. Siapkan mesin las SMAW, elektroda, meja untuk pengelasan plat baja ASTM A36 dan plat stainless steel yang akan digunakan.
2. Jig atau klem plat aluminium yang telah disiapkan untuk mencegah terjadinya proses pemuaian pada plat.
3. Atur Parameter mesin las SMAW 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 8.** Proses Pengelasan SMAW

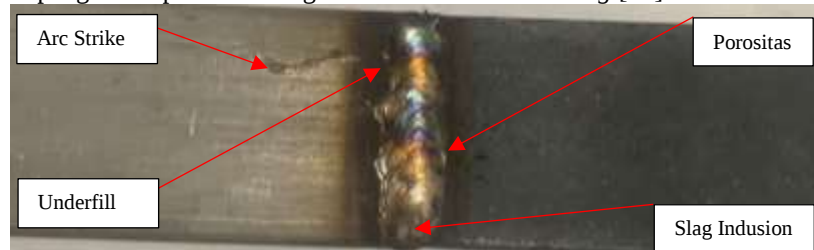
E. Pengujian Tarik

Uji tarik pengelasan adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan letak putusnya sambungan las. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang paling sering dilakukan untuk mengetahui sifat suatu material. Prinsip kerja uji tarik adalah memberikan beban pada spesimen secara bertahap hingga terjadi kegagalan atau kerusakan. Selama pengujian, dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan [11]. Pada pengujian ini menggunakan standar ASTM E8.

**Gambar 9.** Bentuk Spesimen Uji Tarik

F. Pengujian Makrostruktur

Pada Pengujian makrostruktur ini dilakukan pada spesimen dari daerah las dan daerah terpengaruh panas (*heat-affected zone*). Proses pengujian makrostruktur ini dilakukan dengan cara membersihkan spesimen pengelasan kemudian dilakukan pengambilan gambar spesimen dengan alat uji metalografi lalu dilakukan visualisasi cacat pengelasan pada spesimen. Analisis ini bertujuan untuk memahami pengaruh elektroda stainless steel terhadap cacat pengelasan pada sambungan *dissimilar metal welding* [12].



Gambar 10. Bentuk Spesimen Uji Makrostruktur

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Kekuatan Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dan letak putusnya sambungan las. Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang paling sering dilakukan untuk mengetahui sifat suatu material menggunakan standar ASTM E8. Prinsip kerja uji tarik adalah memberikan beban pada spesimen secara bertahap hingga terjadi kegagalan atau kerusakan. Pengujian tarik dilakukan di Labulatorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Berikut merupakan hasil pengujian kekuatann tarik.



Gambar 11. Spesimen Pengujian Tarik

Pada **Gambar 11**. Menunjukkan proses pengujian tarik spesimen pengelasan dissimilar metal dimana kedua sisi spesimen dicapit dan diberi beban tarik sampai patah yang seragam kearah vertikal. Dari hasil pengujian tarik yang didapat dilakukan pengolahan data untuk mengetahui regangan, tegangan, modulus elastisitas yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Uji Tarik

No. Spc	Kuat Arus (A)	Pendingin	Perpanjangan (mm)	Tegangan (Kgf/mm ²)	Regangan	Modulus Elastisitas (Kgf/ mm ²)
1.	70	air	5	198,156	0,023	8.615
2.	70	Udara	5	116,036	0,019	6.107
3.	70	Oli	5	319,683	0,031	10.312
4.	80	Air	5	130,794	0,017	7.693
5.	80	Udara	5	290,775	0,026	11.185
6.	80	Oli	5	346,968	0,032	10.842
7.	90	Air	5	369,342	0,036	10.259
8.	90	Udara	5	290,269	0,025	11.610
9.	90	Oli	5	389,060	0,039	9.975

Nilai Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas dapat dicari dengan persamaan berikut :

1. Tegangan (*Stress*)

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

σ : Tegangan (Kgf/mm²)

F : Gaya (Kgf)

A : Luas Penampang (mm²)

2. Regangan (*Strain*)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

ε : Regangan

F : Perubahan Panjang (mm)

L : Panjang Penampang (mm²)

3. Modulus Elastisitas (*Modulus young*)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

E : Modulus Elastisitas (Kgf/mm²)

σ : Tegangan (Kgf/mm²)

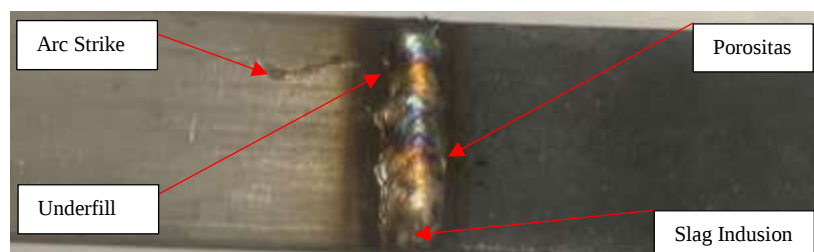
ε : Regangan

Pada **Tabel 2**. Menunjukkan bahwa kuat arus dan pendinginan pada proses pengelasan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik spesimen pengelasan *Dissimilar Metal Welding* (DMW). Hasil pengujian tarik dari 9 spesimen didapatkan nilai tegangan tertinggi 369,342 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin air dan nilai tegangan terendah 116,036 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 70A dengan pendingin udara. Nilai regangan tertinggi 0,039 pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin air dan nilai tegangan terendah 0,017 pada spesimen kuat arus 80A dengan pendingin udara. Nilai modulus elastisitas tertinggi 11.610 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin udara dan nilai modulus elastisitas terendah 6.107 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 70A dengan pendingin udara.

B. Uji Makrostruktur

Pengujian Makrostruktur dilakukan dengan alat uji metalografi menggunakan mikroskop 50 x. Berikut hasil dari pengambilan makrostruktur pengelasan *stainless steel* pada *dissimilar metal welding* plat baja ASTM A36 dan plat *stainless steel* dengan uji makrostruktur. Berikut dibawah ini adalah hasil uji makrostruktur dari proses pengelasan *dissimilar metal welding* (DMW).

1. Spesimen 1 atau Y1 (70 Ampere Pendingin Air)



Gambar 12. Makrostruktur Spesimen 1

Sesuai dengan **Gambar 12**. Berdasarkan parameter 70 Ampere dan pendingin air, dimana terdapat 4 cacat las. Pertama cacat las *arc strike* merupakan bekas elektroda menyentuk permukaan *base metal* spesimen pengelasan, kedua cacat las *underfill* yaitu cacat las kurangnya pengisian pada *weld metal*, ketiga cacat las porositas yaitu lubang kecil pada *weld metal* dan cacat las *slag indusion* cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang terlalu rendah.

2. Spesimen 8 atau Y8 (90 Ampere Pendingin Udara)

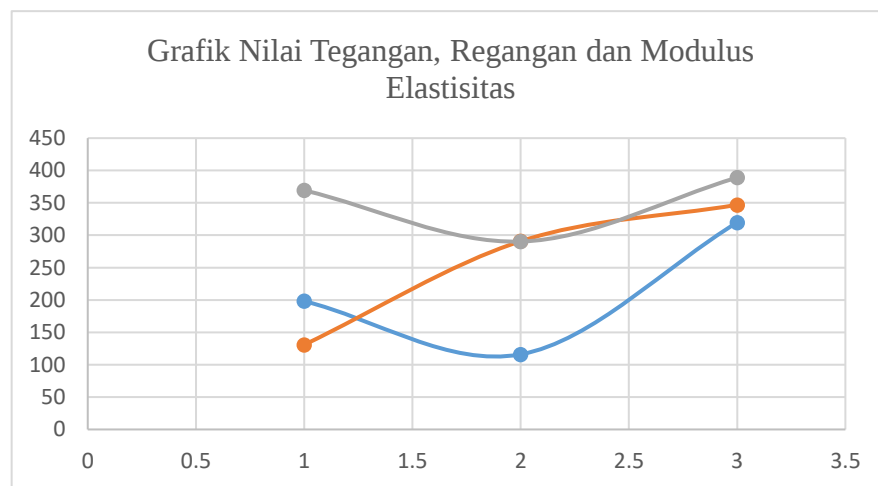


Gambar 13. Makrostruktur Spesimen 8

Sesuai dengan **Gambar 13**. Berdasarkan parameter 90 Ampere dan pendingin udara, dimana tidak terdapat cacat pada spesimen pengelasan.

C. Analisa dan Pembahasan Hasil Uji Kekuatan Tarik

Untuk memudahkan pemahaman pada data dari hasil uji tarik yaitu dengan menampilkan grafik tegangan, regangan dan modulus elastisitas kemudian. dilakukan proses analisa pada hasil pengelasan *dissimilar metal welding* (DMW). Tujuan analisa ini guna visualisasi yang lebih baik dan lebih mudah dimengerti.



Gambar 14. Grafik Nilai Tegangan, Regangan dan Modulus Elastisitas

Dari **Gambar 14**. Diperoleh nilai kekuatan tegangan tertinggi pada spesimen 9 dengan parameter kuat arus 90A dan pendingin oli dengan nilai 389.06 Kgf/mm², sedangkan untuk nilai terendah pada spesimen 2 dengan parameter kuat arus 70A dan pendingin udara. Kemudian nilai kekuatan regangan tertinggi pada spesimen 9 dengan parameter kuat arus 90A dan pendingin oli dengan nilai 0,039, sedangkan untuk nilai terendah pada spesimen 4 dengan parameter kuat arus 80A dan pendingin air dengan nilai 0,017. Dan nilai kekuatan modulus elastisitas tertinggi pada spesimen 8 dengan parameter kuat arus 90A dan pendingin udara dengan nilai 11.610 Kgf/mm², sedangkan untuk nilai terendah pada spesimen 2 dengan parameter kuat arus 70A dan pendingin udara dengan nilai 6.107 Kgf/mm².

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dari “Pengaruh Kuat Arus pada *Dissimilar Metal Welding* (DMW) antara Baja Karbon dan *Stainless Steel* Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Makro” dapat disimpulkan :

- Hasil pengujian tarik dari 9 spesimen didapatkan nilai tegangan tertinggi 369,342 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin air dan nilai tegangan terendah 116,036 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 70A dengan pendingin udara. Nilai regangan tertinggi 0,039 pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin air dan nilai tegangan terendah 0,017 pada spesimen kuat arus 80A dengan pendingin air. Nilai modulus elastisitas tertinggi 11.610 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 90A dengan pendingin udara dan nilai modulus elastisitas terendah 6.107 Kgf/mm² pada spesimen kuat arus 70A dengan pendingin udara.

2. Pengujian makrostruktur partikel dari 9 spesimen dengan parameter proses yang dilakukan pengujian diperoleh hasil terbaik yaitu spesimen 8 dengan parameter 90 Ampere dan pendingin udara karena dimana tidak terdapat cacat pada spesimen pengelasan, kemudian hasil terburuk adalah spesimen 1 dengan parameter 70 Ampere dan pendingin air karena dimana terdapat 4 cacat las. Pertama cacat las *arc strike* merupakan bekas elektroda menyentuh permukaan *base metal* spesimen pengelasan, kedua cacat las *underfill* yaitu cacat las kurangnya pengisian pada *weld metal*, ketiga cacat las porositas yaitu lubang kecil pada *weld metal* dan cacat las *slag inclusion* cacat pada berhentinya pengelasan, cacat las ini terjadi karena ampere yang terlalu rendah.

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] E. Wiseno, "Pengujian non-destructive variasi arus GTAW terhadap sifat pada dissimilar metal welding AISI 1020 dan AISI 304," *Jurnal Ilmiah Flash*, vol. 10, no. 1, 2024.
- [2] H. Kadir, R. Riswanda, A. S. Alfauzi, and B. Sumiyarso, "Pengaruh kondisi parameter pengelasan MAG sambungan las baja tidak sejenis terhadap struktur mikro dan kekerasan daerah HAZ," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 3, pp. 457–466, 2021.
- [3] A. T. Wiratno, *Analisa pengelasan stainless steel 304 dengan carbon steel menggunakan jenis pengelasan SMAW, GTAW dan kombinasi terhadap sifat mekanik material*, Doctoral dissertation, Universitas Tridianati Palembang, 2021.
- [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] M. M. Rizwan, E. Prahesta, and D. Supriyatna, "Analisis Pengaruh Ampere Terhadap Defect Pengelasan Pada Material Atsm 36" *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 8, pp. 258-263, 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] 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.
- [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] 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.
- [14] R. Ramadan, *Analisa kekuatan impak dan struktur mikro pengelasan logam berbeda ASTM A36 dan AISI 316L setelah PWHT*, M.S. thesis, Universitas Hasanuddin, 2023.

- [15] 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.

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.