

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK DAN KECEPATAN PENGELASAN
PADA PENGELASAN FCAW TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DISTORSI
BAJA A36**

***THE EFFECT OF ELECTRIC CURRENT AND WELDING SPEED VARIATIONS IN
FCAW WELDING ON TENSILE STRENGTH AND DISTORTION OF A36 STEEL***

Alif Putra Azis¹⁾, Andy Nugraha¹⁾

¹⁾Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia
email: alifputraazis18@gmail.com*, andy.nugraha@ulm.ac.id

Received:
21 Juni 2025

Accepted:
29 Juni 2025

Published:
29 Juni 2025

Abstract

Flux-Cored Arc Welding (FCAW) is a type of electric arc welding that uses a consumable wire electrode with a flux-filled core, serving as a shielding medium. This method integrates characteristics from Gas Metal Arc Welding (GMAW), Shielded Metal Arc Welding (SMAW), and Submerged Arc Welding (SAW). The experimental procedure began with specimen preparation, which involved collecting, cutting, and machining a 50° V-groove using a milling machine. The welding process was conducted using FCAW with controlled variations in welding current (140A, 170A, and 200A) and welding speeds (3 mm/s, 5 mm/s, and 7 mm/s) for each current setting. The results of the distortion test indicated that the highest distortion occurred at a current of 200A and a welding speed of 3 mm/s. Similarly, tensile testing revealed that the highest tensile strength was also observed under the same conditions: 200A current and 3 mm/s welding speed.

Keywords: FCAW Welding, Distortion, Tensile Test, Current Strength, Welding Speed

Abstrak

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan salah satu metode pengelasan busur listrik yang menggunakan kawat elektroda dengan inti fluks sebagai pelindung. Proses ini menggabungkan karakteristik dari metode Gas Metal Arc Welding (GMAW), Shielded Metal Arc Welding (SMAW), dan Submerged Arc Welding (SAW). Penelitian diawali dengan tahap persiapan spesimen, yang meliputi pengumpulan material, pemotongan, dan pembuatan sambungan berbentuk V dengan sudut 50° menggunakan mesin milling. Selanjutnya, proses pengelasan dilakukan menggunakan metode FCAW dengan variasi arus 140A, 170A, dan 200A serta kecepatan pengelasan 3 mm/s, 5 mm/s, dan 7 mm/s untuk masing-masing arus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa distorsi terbesar terjadi pada arus 200A dengan kecepatan pengelasan 3 mm/s. Demikian pula, kekuatan tarik tertinggi juga ditemukan pada spesimen yang dilas dengan arus 200A dan kecepatan 3 mm/s.

Kata Kunci: Pengelasan FCAW, Distorsi, Uji Tarik, Kekuatan Arus, Kecepatan Pengelasan

DOI: 10.20527/jtam_rotary.v7i2.15757

How to cite: Azis, A. P., & Nugraha, A., "Pengaruh Variasi Arus Listrik Dan Kecepatan Pengelasan Pada pengelasan FCAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Distorsi Baja A36". *JTAM ROTARY*, 7(2), 145-158, 2025.

PENDAHULUAN

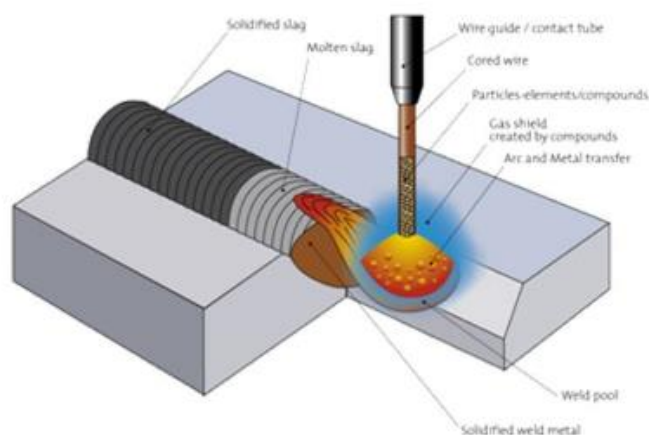
Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang digunakan secara luas, terutama pada material konstruksi bangunan baja maupun konstruksi mesin (Azwinur *et al.*, 2017). Luasnya penerapan teknologi pengelasan disebabkan karena proses pembangunan konstruksi bangunan atau mesin menjadi lebih mudah dan efisien, sehingga biaya produksi dapat ditekan menjadi lebih rendah (Wattimena *et al.*, 2022). Saat ini, teknik penyambungan logam melalui proses pengelasan semakin banyak diterapkan (Simanjuntak *et al.*, 2024). Beberapa jenis pengelasan yang umum digunakan antara lain Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Gas Metal Arc Welding (GMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Submerged Arc Welding (SAW), Electro Slag Welding (ESW), Electro Gas Welding (EGW), Stud Welding (SW), Oxyfuel Gas Welding (OFW), dan Flux Cored Arc Welding (FCAW) (Irawan & Irawansyah, 2023). Pengelasan jenis FCAW adalah proses pengelasan busur listrik yang menggunakan kawat elektroda dengan inti fluks di bagian tengahnya sebagai pelindung. FCAW sendiri merupakan kombinasi dari karakteristik pengelasan SMAW, SAW, dan GMAW, sehingga menjadi metode yang cukup fleksibel dan banyak digunakan dalam industri (Agus *et al.*, 2020).



Gambar 1. Proses Pengelasan

Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*)

Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) merupakan jenis pengelasan listrik yang menggunakan kawat elektroda dengan inti fluks di bagian tengah sebagai pelindung. FCAW merupakan kombinasi dari teknik pengelasan SMAW, SAW, dan GMAW. Dalam proses pengelasan ini, sumber energi yang digunakan berasal dari arus listrik searah (DC) maupun bolak-balik (AC) yang disuplai dari pembangkit listrik atau trafo (Pratama *et al.*, 2019).



Gambar 2. Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*)

Uji Kekuatan Tarik

Setiap logam memiliki berbagai sifat, seperti sifat fisik, mekanik, termal, dan ketahanan terhadap korosi. Salah satu sifat penting dalam bidang teknik adalah sifat mekanik, yang mencakup keuletan, kekerasan, kekuatan, dan ketangguhan. Sifat-sifat mekanik ini menjadi dasar dalam menentukan proses lanjutan terhadap material, seperti pembentukan maupun pemesinan (Khalid & Norhafani, 2023).

Untuk mengetahui sifat mekanik suatu logam, perlu dilakukan pengujian mekanik, salah satunya adalah uji tarik. Tujuan utama uji tarik adalah untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dari suatu material. Dalam konteks pengelasan, pengujian ini bertujuan mengevaluasi apakah kekuatan tarik pada area sambungan las setara, lebih rendah, atau bahkan lebih tinggi dibandingkan logam induk. Selain itu, uji tarik juga berguna untuk menentukan kualitas kekuatan sambungan las dan posisi terjadinya patahan saat material mengalami beban tarik.



Gambar 3. Uji Tarik

Uji Distorsi

Distorsi adalah perubahan bentuk atau penyimpangan geometri yang terjadi akibat pengaruh panas, termasuk yang dihasilkan selama proses pengelasan. Pemuaian akibat panas pada area kerja dapat menyebabkan bagian-bagian spesimen mengalami perubahan bentuk, seperti melengkung atau tertarik. Semua logam akan mengalami pemuaian ketika dipanaskan dan menyusut saat didinginkan ini merupakan sifat alamiah logam. Oleh karena itu, seorang operator las harus memiliki keterampilan dan pemahaman yang memadai agar dapat menghasilkan sambungan las sesuai dengan rancangan. Dengan melakukan pengendalian terhadap proses pemanasan dan pendinginan, distorsi akibat pengelasan dapat diminimalkan sehingga hasil lasan tetap presisi dan memenuhi standar (Wibowo & Samlawi, 2020).

Baja A36

Baja A36 merupakan baja jenis “*Stainless Steel*” (baja tahan karat) karena dimuali-dengan-huruf SS. Pada kali ini, dijelaskan bahwa-SS400-bukan baja stainless steel, melainkan “*Structural Steel*” yakni baja konstruksi. Plat baja A36 termasuk golongan baja karbon rendah yang memilki fungsi untuk pembangunan konstruksi seperti pipa, tanki, dan juga bisa digunakan untuk pembuatan kapal (Wibowo *et al.*, 2016).



Gambar 4. Baja A36

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mesin las FCAW, digunakan untuk pengelasan.



Gambar 5. Las FCAW

2. Gerinda potong, digunakan untuk memotong *specimen*.



Gambar 6. Gerinda Potong

3. Gerinda duduk, digunakan untuk membuat kampuh V, dan merapikan *specimen*.



Gambar 7. Gerinda Duduk

4. Dial indicator digital, digunakan untuk menghitung tingkat distorsi dari hasil pengelasan FCAW.



Gambar 8. Dial Indicator Digital

5. Alat uji tarik (tarno grocki), digunakan untuk menguji kekuatan tarik dari sambungan las.



Gambar 9. Tarno Grocki

6. Elektroda AWS SFA – 5.18 ER70S – 6, digunakan sebagai elektroda pengelasan.



Gambar 10. Elektroda AWS SFA – 5.18 ER70S – 6

7. Sketmat digital, digunakan untuk mengukur panjang flame.



Gambar 11. Sketmat Digital

8. Tabung gas CO_2 , digunakan untuk pengaturan flame.



Gambar 12. Tabung Gas CO_2

Pengujian Distorsi

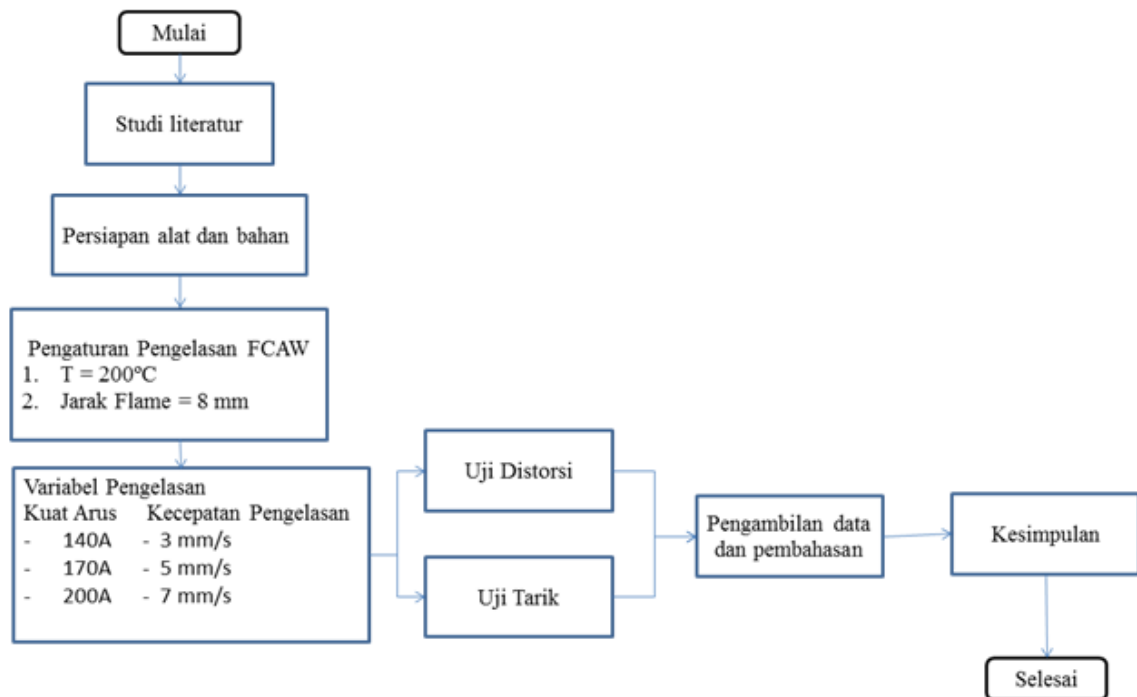
Pengujian ini dijalankan dengan mengukur menggunakan alat yang bernama Dial Indikator, spesimen yang telah dilas ditaruh dimeja datar yg di atasnya terdapat ragum penjempit kemudian dilakukan pengukuran *fix point*. Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sudah ditetapkan. Pengukuran dilakukan agar dapat mengetahui distorsi sudut yang disebabkan oleh perbedaan temperature las antara permukaan yang dilas. Masing-masing dari spesimen dilakukan pengukuran sebanyak 7 kali dari titik tengah yang bernilai 0, kemudian bergerak ke kanan 3 titik dan ke kiri 3 titik untuk mendapatkan nilai distorsinya.

Pengujian Tarik

Prosedur pengujian tarik dan cara membaca hasil pada pengujian tarik ialah berikut, pertama mencatat ukuran dari penampang, kemudian menghitung panjang awal specimen dan tebal specimen, setelah itu benda uji dijepit oleh ragum dari alat uji tarik, kemudian memasukan data penampang yang di awal telah di hitung yakni, panjang awal dan ketebalan specimen dimasukkan ke dalam komputer, memulai pengujian dengan beban tarik menggunakan tenaga hidrolik hingga bahan putus, terakhir bahan yang telah putus diukur lagi besar dari penampang dan panjangnya.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Diagram Alir Penelitian

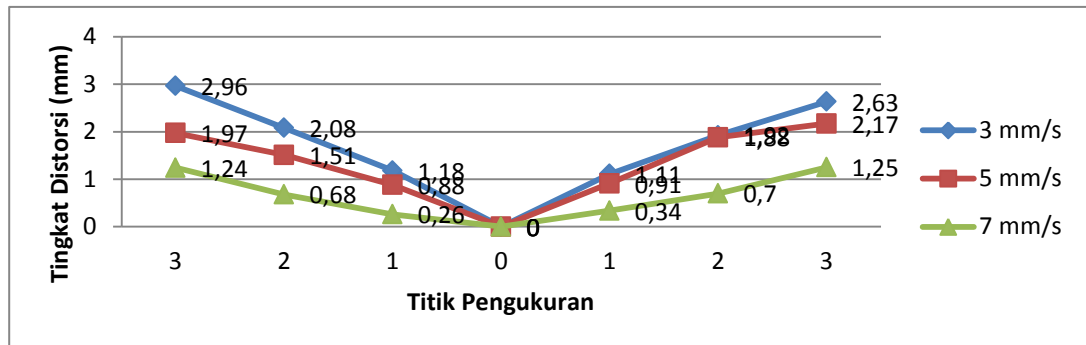
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengelasan

Hasil pengelasan yang telah dilakukan pada 27 specimen yang telah di buat dengan variasi kampuh V 50°, variasi kuat arus pengelasan 140A, 170A, dan 200A, dan variasi kecepatan pengelasan 3 mm/s, 5 mm/s, dan 7 mm/s di tiap kuat arusnya dengan menggunakan elektroda SFA – 5.18 ER70S – 6 dengan pengulangan 3 kali di tiap prosesnya.

Hasil Pengujian Distorsi

1. Data hasil pengamatan distorsi pada kuat arus 140 A dengan variasi kecepatan pengelasan 3 mm/s ; 5 mm/s ; 7 mm/s.

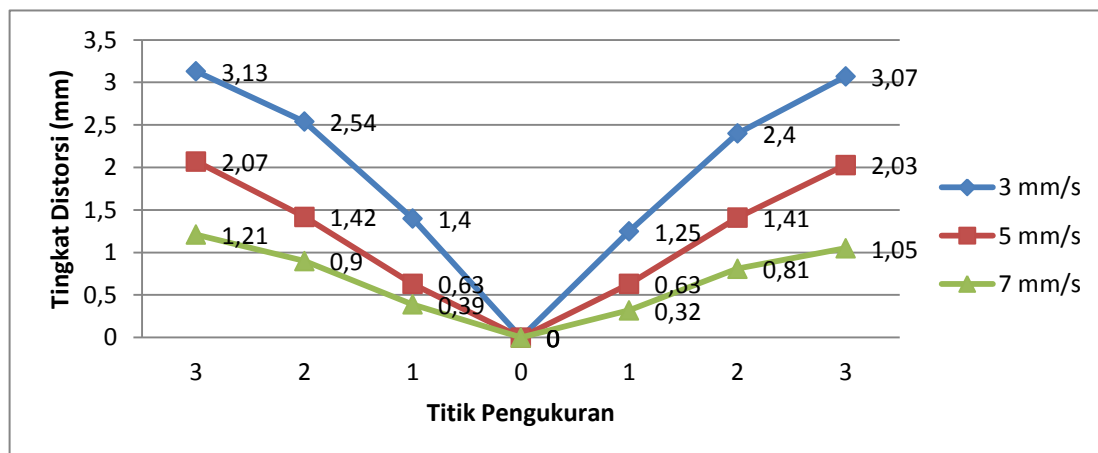


Gambar 14. Grafik Distorsi sudut pengelasan 140 A

Pada hasil pengamatan distorsi pada pengelasan dengan kuat arus 140 A pada gambar 4.2 terlihat perbedaan dari hasil distorsi di setiap perbedaan kecepatan pengelasan. Yang mana pada kecepatan 3 mm/s menimbulkan distorsi paling besar dengan nilai rata-rata 2,96 dan nilai distorsi terkecil terjadi pada kecepatan 7 mm/s dengan nilai 1,25, dan pada kecepatan 5 mm/s dengan nilai 2,17.

Dari gambar 14 untuk kecepatan 3 mm/s menunjukkan waktu pemaparan panas lebih lama, sehingga akumulasi panas lebih besar mengakibatkan residu tegangan termal tinggi sehingga distorsi lebih besar, distribusi panas dan tegangan sisa sebagai penyebab utama distorsi dalam pengelasan (Masubuchi, 2013). Untuk kecepatan 5 mm/s menunjukkan distorsi berada di antara kecepatan 3 mm/s dan 7 mm/s, proses terjadi lebih cepat, tetapi tetap cukup waktu untuk transmisi panas dan menghasilkan distorsi moderat, peningkatan kecepatan pengelasan mengurangi input panas dan memperkecil distorsi (Marimuthu & Murugan, 2003). Untuk kecepatan 7 mm/s menunjukkan distorsi paling kecil (maksimum hanya 1,25 mm di ujung) dikarenakan panas cepat berpindah mengakibatkan zona terpengaruh panas (HAZ) lebih sempit sehingga deformasi akibat ekspansi dan kontraksi termal menjadi lebih kecil (Gao *et al.*, 2014).

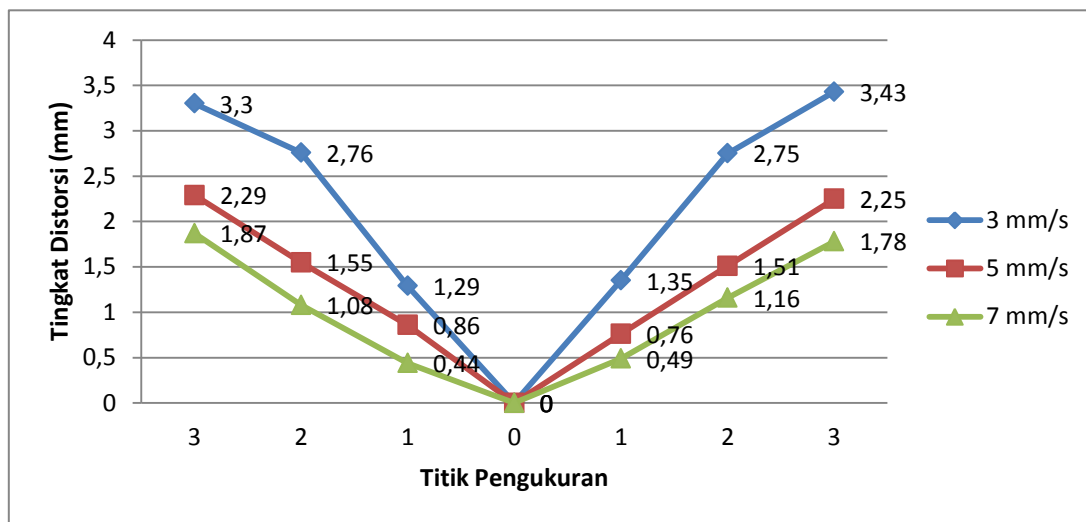
2. Data hasil pengamatan distorsi pada kuat arus 170 A dengan variasi kecepatan pengelasan 3 mm/s ; 5 mm/s ; 7 mm/s



Gambar 15. Grafik Distorsi Sudut Pengelasan 170 A

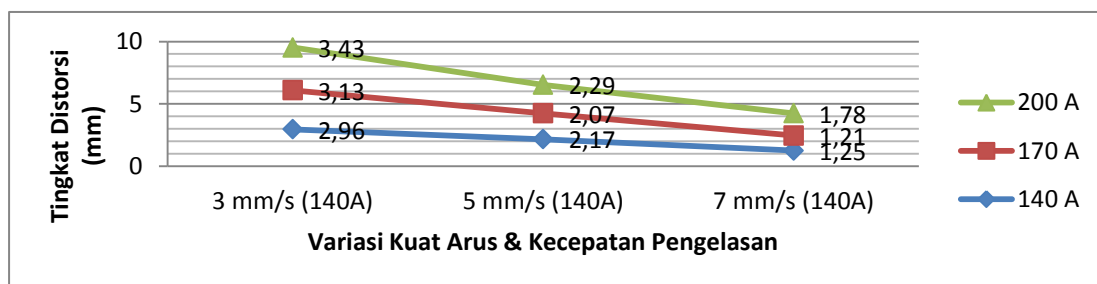
Pada hasil pengamatan distorsi pada pengelasan dengan kuat arus 170 A pada gambar 4.3 terlihat perbedaan dari hasil distorsi di setiap perbedaan kecepatan pengelasan. Yang mana pada kecepatan 3 mm/s menimbulkan distorsi paling besar dengan nilai rata-rata 3,13 dan nilai distorsi terkecil terjadi pada kecepatan 7 mm/s dengan nilai 1,21, dan pada kecepatan 5 mm/s dengan nilai 2,07.

3. Data hasil pengamatan distorsi pada kuat arus 200 A dengan variasi kecepatan pengelasan 3 mm/s ; 5 mm/s ; 7 mm/s



Gambar 16. Grafik Distorsi sudut pengelasan 200 A

Pada hasil pengamatan distorsi pada pengelasan dengan kuat arus 200 A pada gambar 4.4 terlihat perbedaan dari hasil distorsi di setiap perbedaan kecepatan pengelasan. Yang mana pada kecepatan 3 mm/s menimbulkan distorsi paling besar dengan nilai rata-rata 3,43 dan nilai distorsi terkecil terjadi pada kecepatan 7 mm/s dengan nilai 1,78, dan pada kecepatan 5 mm/s dengan nilai 2,29.



Gambar 17. Distorsi Pada Tiap Variasi Pengelasan

Hasil proses pengelasan yakni material yang diukur mengalami distorsi yang besar pada bagian HAZ dengan kelengkungan dari distorsi yang berbentuk huruf V. Pada pengujian tersebut terjadi perbedaan distorsi di setiap variasi arus pengelasan dan kecepatan pengelasannya. Gambar 17 menunjukkan pengaruh kombinasi antara kuat arus dan kecepatan pengelasan terhadap tingkat distorsi sudut yang dihasilkan selama proses pengelasan. Variasi arus yang digunakan meliputi 140 A, 170 A, dan 200 A, dengan masing-masing dikombinasikan pada kecepatan pengelasan sebesar 3 mm/s, 5 mm/s, dan 7 mm/s.

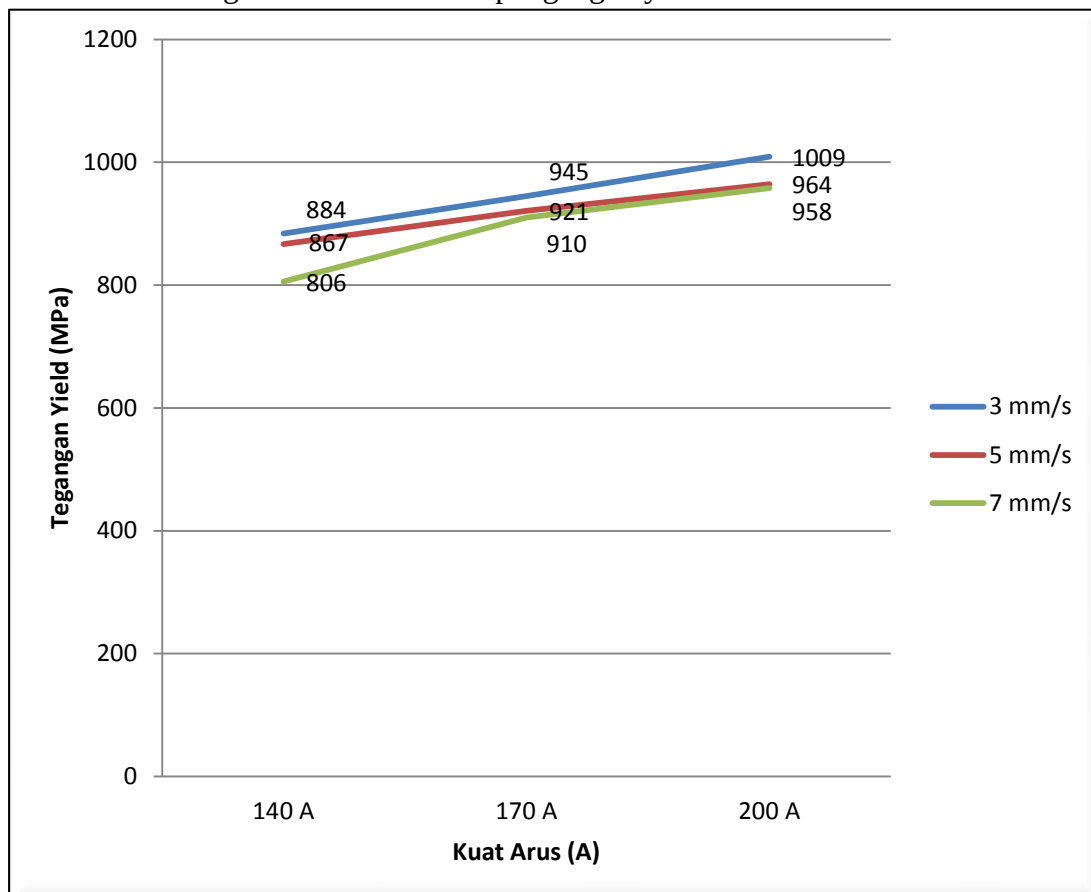
Secara umum, grafik menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengelasan pada setiap tingkat arus cenderung menurunkan tingkat distorsi. Pada arus 140 A, tingkat distorsi menurun dari 2,96 mm pada kecepatan 3 mm/s menjadi 1,25 mm pada kecepatan 7 mm/s. Tren serupa juga terlihat pada arus 170 A dan 200 A, dengan penurunan dari 5,13 mm menjadi 2,71 mm dan dari 8,43 mm menjadi 1,78 mm secara berturut-turut.

Selain itu, pada kecepatan pengelasan yang sama, peningkatan arus menghasilkan peningkatan tingkat distorsi. Hal ini ditunjukkan pada kecepatan 3 mm/s, di mana distorsi meningkat seiring kenaikan arus dari 2,96 mm (140 A), menjadi 5,13 mm (170 A), dan mencapai 8,43 mm (200 A). Hal ini disebabkan oleh meningkatnya input panas yang dihasilkan pada arus yang lebih tinggi, yang memicu ekspansi termal lebih besar dan menyebabkan deformasi pada material (Masubuchi, 2013).

Dengan demikian, kombinasi parameter yang paling optimal untuk meminimalkan distorsi adalah penggunaan arus 140 A pada kecepatan 7 mm/s. Kombinasi ini memberikan input panas yang relatif rendah dan waktu pemanasan yang singkat, sehingga mampu mengurangi deformasi termal secara signifikan. Hasil ini sejalan dengan prinsip bahwa pengurangan input panas melalui pengaturan arus dan kecepatan yang tepat merupakan strategi efektif dalam mengontrol distorsi pada sambungan las (Jeffus *et al.*, 2008).

Hasil Pengujian Tarik

1. Grafik hubungan kuat arus terhadap tegangan yield

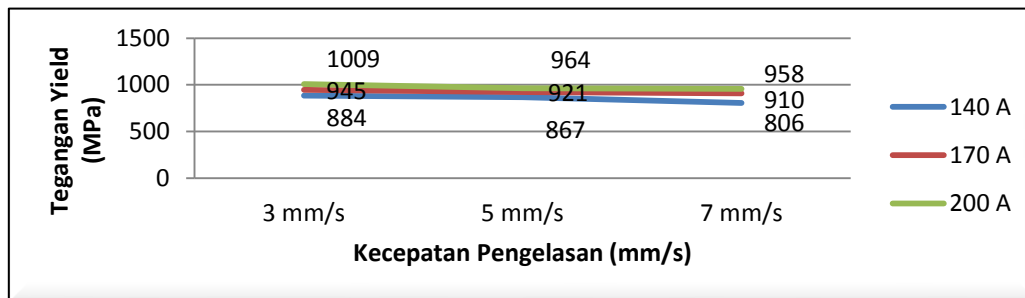


Gambar 18. Grafik Kuat Arus Terhadap Tegangan Yield

Dari hasil diatas, dapat terlihat nilai tegangan yield terendah berada pada variabel kecepatan pengelasan 7 mm/s pada kuat arus 140 A, dan nilai tertinggi tegangan yield

berada pada variable kecepatan pengelasan 3 mm/s pada kuat arus 200 A. yang mana tegangan luluh merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan. Dapat juga dilihat perbedaan trend pada variasi kecepatan pengelasan 3 mm/s pada kuat arus 200 A mengalami kenaikan yang signifikan dikarenakan pemanasan yang masuk tinggi sehingga mendapatkan hasil nilai tegangan yield tertinggi.

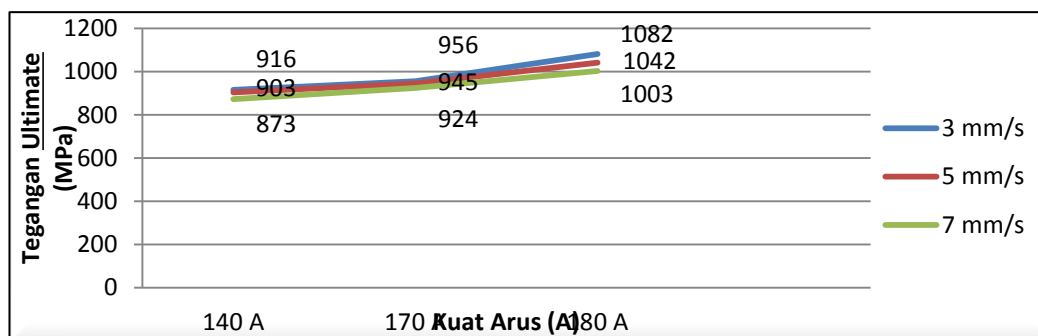
2. Grafik hubungan diameter elektroda terhadap tegangan yield



Gambar 19. Grafik Kecepatan Pengelasan Terhadap Tegangan Yield

Dari hasil diatas dapat terlihat nilai tegangan *yield* pada setiap variasi kecepatan pengelasan mengalami tren kenaikan pada tiap-tiap variasi arus listrik dan tidak mengalami tren penurunan.

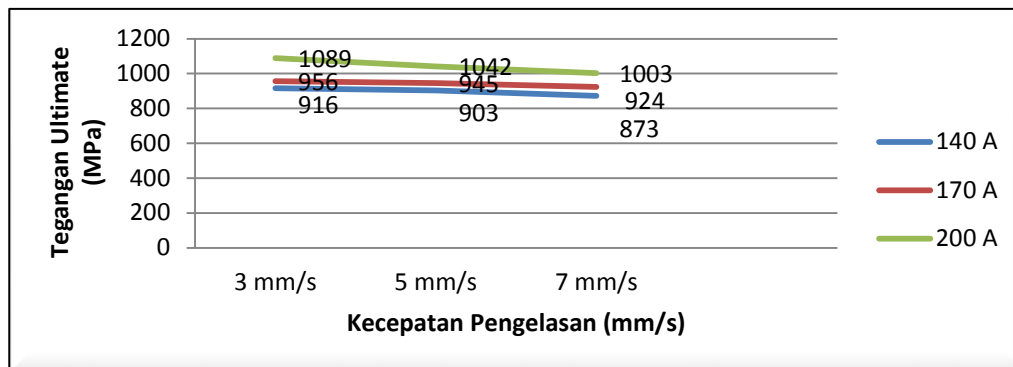
3. Grafik kuat arus terhadap tegangan tarik ultimate



Gambar 20. Grafik Kuat Arus Terhadap Tegangan Tarik

Dari hasil diatas, dapat dilihat nilai tegangan tarik terendah berada pada variabel kuat arus 140A dengan kecepatan pengelasan 7 mm/s, dan nilai tertinggi tegangan tarik berada pada kuat arus 200A pada variabel kecepatan pengelasan 3 mm/s. Yang mana tegangan luluh merupakan tegangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah kecil deformasi plastis yang ditetapkan.

4. Grafik hubungan kecepatan pengelasan terhadap tegangan tarik

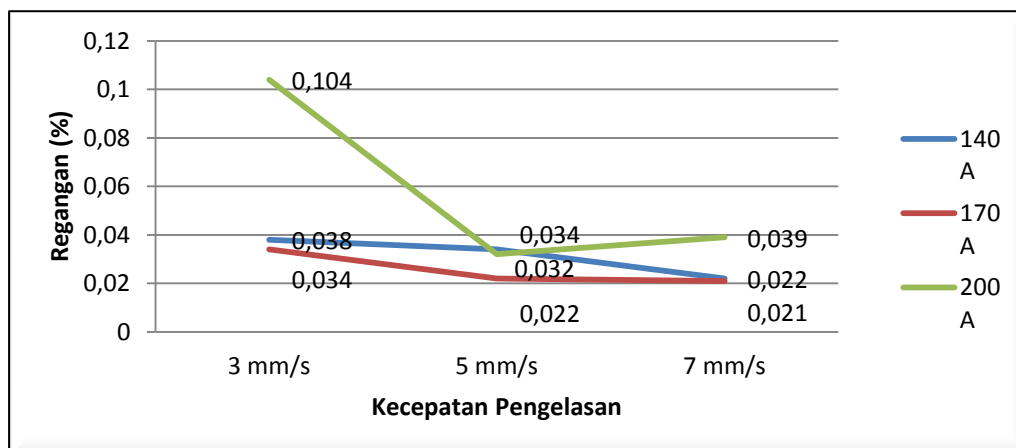


Gambar 21. Grafik Kecepatan Pengelasan Terhadap Tegangan Tarik

Dari hasil diatas, dapat terlihat bahwa tegangan tarik mengalami penurunan di tiap penambahan variabel kecepatan pengelasan.

Regangan

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai regangan yang sama yaitu sebesar 0,034% pada dua kondisi berbeda, yaitu pada arus pengelasan 140A dengan kecepatan 5 mm/s, dan arus 170A dengan kecepatan 3 mm/s. Selain itu, nilai regangan sebesar 0,022% juga ditemukan pada kondisi arus 140A dengan kecepatan 7 mm/s serta arus 170A dengan kecepatan 5 mm/s. Nilai regangan tertinggi tercatat pada spesimen yang dilas dengan arus 200A dan kecepatan 3 mm/s, yakni sebesar 0,104%, yang sekaligus menjadi nilai regangan paling tinggi di antara seluruh variasi pengelasan yang diuji.



Gambar 22. Grafik Regangan

Regangan termal meningkat dengan naiknya arus karena panas yang lebih besar menyebabkan ekspansi lebih tinggi, diikuti penyusutan yang cepat (Lippold, 2014). Peningkatan kecepatan pengelasan menurunkan regangan karena waktu pemanasan lebih singkat sehingga energi panas tidak cukup lama untuk menyebabkan deformasi besar. Kombinasi arus rendah dan kecepatan tinggi optimal untuk mengurangi regangan (Dong, 2005).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi kecepatan pengelasan dan kuat arus berpengaruh terhadap tingkat distorsi yang terjadi selama proses pengelasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengelasan, maka semakin kecil nilai distorsi yang ditimbulkan. Sebaliknya, semakin besar arus pengelasan yang digunakan, maka semakin besar pula distorsi yang terjadi pada spesimen.
2. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada kondisi arus 200A dan kecepatan 3 mm/s, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 1089 MPa. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan arus dan penurunan kecepatan pengelasan berdampak signifikan terhadap peningkatan kekuatan tarik pada daerah sambungan las.

REFERENSI

- Agus Umar, R., Ohara, W., & Hakim, A. R. (2020). Analisa Kualitas Pengelasan Flux Cored Arc Welding (Fcaw) Pada Pabrikasi Tugboat 23 M, Hull 302. *Sigma Teknika*, 3(1), 39-49.
- Azwinur, A., Jalil, S. A., & Husna, A. (2017). Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW. *Jurnal Polimesin*, 15(2), 36-41.
- Dong, P. (2005). Residual stresses and distortions in welded structures: a perspective for engineering applications. *Science and Technology of Welding and Joining*, 10(4), 389-398.
- Gao, M., Chen, C., Mei, S., Wang, L., & Zeng, X. (2014). Parameter optimization and mechanism of laser-arc hybrid welding of dissimilar Al alloy and stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 74, 199-208.
- Irawan, D., & Irawansyah, H. (2023). Pengaruh Pwht (Post Weld Heat Treatment) Pada Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tekan Baja ST 37. *JTAM ROTARY*, 6(1), 27-40.
- Jeffus, L. F., Johnson, H. V., & Lesnewich, A. (2008). *Welding: principles and applications*. Thomson Delmar Learning.
- Khalid, A., & Norhafani, N. (2023). Analisa Bahan Tambah Serbuk Baterai Bekas Untuk Meningkatkan Kekuatan Tarik Baling-Baling Aluminium Rongsokan. *JTAM ROTARY*, 6(1), 15-26.
- Lippold, J. C. (2014). *Welding metallurgy and weldability*. John Wiley & Sons.
- Marimuthu, K., & Murugan, N. (2003). Prediction and optimisation of weld bead geometry of plasma transferred arc hardfaced valve seat rings. *Surface Engineering*, 19(2), 143-149.
- Masubuchi, K. (2013). *Analysis of welded structures: residual stresses, distortion, and their consequences* (Vol. 33). Elsevier.
- Pratama, M. Y., Budiarto, U., & Jokosisworo, S. (2019). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- Simanjuntak, R. F. Z., Ansyah, P. R., Ramadhan, M. N., & Syarief, A. (2024). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Gmaw Terhadap Distorsi Dan Kekerasan Pada Baja ST37 Post Heating 400° C. *JTAM ROTARY*, 6(2), 135-146.
- Wattimena, R. M., Suharto, S., Iriyanto, S., Setiyawan, T., Kristiawan, T. A., Hidayati, N., & An-Nizhami, A. (2022, May). Penerapan Teknologi Pengelasan Cetakan Aneka

- Motif Paving untuk Pemberdayaan Masyarakat Mertoyudan Kabupaten Magelang. In Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (Vol. 4, No. 1).
- Wibowo, A. T., & Samlawi, A. K. (2020). Pengaruh proses quenching dengan media pendingin air dan oli terhadap kekerasan baja dan struktur mikro baja S45C. JTAM ROTARY, 2(2), 137-148.
- Wibowo, H., Ilman, M. N., & Iswanto, P. T. (2016). Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36. Rekayasa Mesin, 7(1), 5-12.