

ANALISIS PENGELASAN KOMBINASI GMAW DAN FCAW PADA BAJA ASTM A36 TERHADAP SIFAT MEKANIK

Faisal Manta¹⁾, Ridwan Haliq²⁾, Ahmad Zulfikar Patria Wiguna³⁾,
Kafinra Pratama⁴⁾

1,2) Dosen Teknik

Mesin, Institut Teknologi
Kalimantan, Balikpapan,
Kalimantan Timur,
Indonesia

3,4) Mahasiswa Teknik Mesin,

Institut Teknologi
Kalimantan, Balikpapan,
Kalimantan Timur,
Indonesia

Corresponding email ¹⁾ :
faisal86@lecturer.itk.ac.id

Received: 17.05.2024

Accepted: 02.06.2024

Published: 28.06.2024

©2024 Politala Press.
All Rights Reserved.

Abstrak. Baja A36 sebagai bahan baku attachment alat berat, seperti blade dan bucket. Pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW) dan Flux-Cored Arc Welding (FCAW) digunakan pada penyambungannya. Input panas tinggi dan mekanisme perlindungan logam las sesuai untuk penyambungan plat tebal, namun dilapangan ditemukan kegagalan fungsi karena kerusakan sambungan las. Dalam mengatasi hal tersebut dilakukan penelitian kedua teknik pengelasan untuk mendapatkan nilai kekuatan sambungan optimal. Penelitian menggunakan pengelasan GMAW, FCAW dan las kombinasi pada penyambungan baja A36 dengan kampuh V sudut 60°. Pada hasil pengelasan akan dilakukan Magnetic Particle Inspection (MPI) dan bending test. Pengujian MPI menyatakan pengelasan kombinasi memenuhi persyaratan standar AWS1015. Kekuatan bending tertinggi pada pengelasan FCAW senilai 160,419 MPa dan terendah GMAW senilai 71,724 MPa, sedangkan pengelasan kombinasi 113,312 MPa. Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh fasa yang terbentuk dari setiap metode pengelasan tampak pada foto mikro di kawasan weld metal, HAZ dan base metal.

Kata Kunci: baja A35, bending test, fcaw, gmaw, las kombinasi

Abstract. A36 steel is the raw material for heavy equipment attachments, such as blades and buckets. Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flux-Cored Arc Welding (FCAW) connect the two. High heat input and weld metal protection mechanisms are suitable for joining thick plates; however, in the field, malfunctions were found due to damage to the weld joint. To overcome this, research was conducted on two welding techniques to obtain optimal joint strength values. The research uses GMAW, FCAW, and combination welding to join A36 steel with a V-beam angle 60°. Based on the welding results, magnetic particle inspection (MPI) and bending tests will be carried out. MPI testing states combination welding meets the requirements of the AWS1015 standard. The highest bending strength in FCAW welding was 160,419 MPa, the lowest in GMAW was 71,724 MPa, while combination welding was 113,312 MPa. The difference in value is influenced by the phases formed from each welding method, which is visible in the microphotographs in the weld metal, HAZ, and base metal areas.

Keywords: A36 steel, Fcaw, Gmaw, Bending test, Combination welding

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i1.278>

1. Pendahuluan

Baja ASTM A36 merupakan baja karbon rendah dengan kekuatan tarik tidak lebih dari 550 MPa., memiliki kemampuan bentuk dan las yang baik. Unsur mangan yang lebih dari 1% membuat baja A36 memiliki ketahanan gesek. Sifat mekanik yang demikian membuat baja A36 diaplikasikan menjadi baja konstruksi kapal dan kendaraan alat berat[1].

Pada konstruksi kapal dan kendaraan alat berat baja A36 disambung dengan metode las listrik. Las listrik dipilih karena memiliki input panas tinggi dan kualitas las yang baik dengan adanya sistem perlindungan dan

pengaturan polarity. Sistem pelindung diperoleh melalui aliran gas atau lelehan flux yang menjaga logam las dari kontaminasi udara bebas selama proses pengelasan. Kemampuan dalam mengatur polaritas berdampak terhadap sebaran panas pada busur listrik, menyebabkan perubahan bentuk weld metal[2]. las GMAW dan FCAW merupakan jenis pengelasan las listrik. Las GMAW merupakan pengelasan yang dilakukan dengan perlindungan gas dari pengaruh udara luar, gas yang digunakan seperti argon, helium dan CO₂. Elektroda terumpan secara otomatis sehingga mampu digunakan pada pengelasan kampuh panjang dan *multi layer*, meskipun membutuhkan kemampuan operator cukup. Las FCAW merupakan pengelasan listrik dengan elektroda terumpan yang dilapisi oleh flux. Saat proses pengelasan flux yang pada elektroda akan menelebur dan membentuk lapisan pelindung/terak pada logam las. Flux juga dapat membentuk paduan dengan bahan *base metal* sehingga mampu memperbaiki sifat mekanik logam las[3].

Las kombinasi merupakan pengelasan yang menggunakan 2 metode secara bersamaan. Pengelasan kombinasi bertujuan menggabungkan kedua keunggulan tipe pengelasan. Pada pengelasan pipa tekanan tinggi, menggunakan pengelasan SMAW di posisi *root* dan GTAW untuk sisanya[4], menunjukkan peningkatan kekuatan hasil pengujian tarik. SMAW memiliki input panas tinggi untuk pengelasan celah kecil, material tipis dan *traveling* tinggi. Pada pengelasan GTAW dengan penetrasi dangkal dan lebar sesuai untuk pengelasan *multilayer* dan celah lebar[5]. Namun pengelasan dengan kombinasi berlapis GMAW dan FCAW belum dilakukan, maka dilakukan penelitian kombinasi kedua metode tersebut terhadap kompone alat berat.

Kekuatan sambungan las dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah perubahan struktur karena proses pemanasan. Ketika logam terkena panas selama proses pengelasan, struktur mikro di sekitar daerah las akan mengalami perubahan akibat pemanasan dan pendinginan. Bagian logam yang terpengaruh oleh perubahan struktur akibat panas ini dikenal sebagai *Heat Affected Zone (HAZ)* atau daerah yang terpengaruh oleh panas. Pada las *multilayer* terjadi pemanasan dan pendinginan secara berulang, maka dengan pengujian struktur mikro akan dapat dilihat bentuk HAZ di sekitar *layer* dan *base metal*[6].

2. Metodologi

Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan pada bulan Maret 2023. Pengelasan menggunakan mesin las Kobewel Xi350 dengan spesifikasi yaitu jangkauan arus 80-350 A, jangkauan tegangan 18-31.5 V, diameter filler 0.8-1.6mm, daya input 14 KVA dan arus input 21 A. Parameter pengelasan FCAW digunakan filler E71T-1, diameter 1.2mm, sedangkan pada las GMAW digunakan filler ER70S-6, diameter 0.8mm untuk arus, tegangan dan wire speed bernilai sama untuk kedua metode las secara berturut yaitu 200A, 28 V dan 5m/min. Baja ASTM A36 dengan dimensi 300 mm x 88 mm x 14.6 mm dan dengan kampuh (V) sudut 60 derajat sebagai *base metal*.

Pengelasan kombinasi *multilayer* diterapkan sesuai dengan Gambar 1, bahwa pengelasan GMAW di *layer* 1 dan 3 dan pengelasan FCAW di *layer* 2 dan 4. , sedangkan pada pengelasan FCAW semua layer 1,2,3 dan 4 adalah las FCAW begitu juga untuk pengelasan GMAW semua layer 1,2,3 dan 4 adalah las GMAW

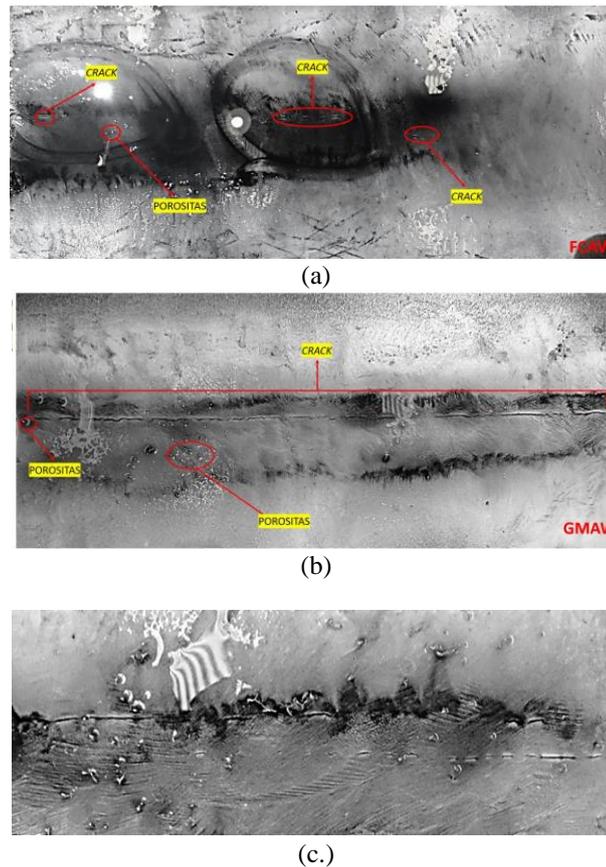


Gambar 1. Pengelasan kombinasi GMAW dan FCAW

Pengujian *magnetic particle inspection (MPI)* digunakan pada hasil pengelasan untuk mendapatkan pengelasan sesuai standar AWS D1.1:2020 [6]. Pada tahap berikutnya material dipotong menggunakan *bandsaw machine* dengan dimensi panjang 150 mm x lebar 10 mm x tebal 14,6 mm sebagai spesimen *bending test* dengan mesin universal testing. Pengambilan foto makro dan mikro struktur digunakan untuk menganalisa perubahan dan distribusi struktur di daerah logam las. Pada tahun 2021 Samuel melakukan penelitian pengelasan kombinasi yaitu SMAW dan GTAW pada baja JIS SS 400 dengan kampuh V 60 terhadap sifat mekanik berupa kekuatan impak dan kekerasan. Kombinasinya adalah SMAW pada sisi root dan GTAW pada sisi filler sehingga ditemukan pengaruh input panas dari dua metode pengelasan tersebut terhadap perubahan struktur mikro. Pada penelitian tersebut didapatkan bahwa input panas lebih tinggi akan menghasilkan struktur perlit yang bersifat keras dan getas, dan menaikkan kekuatan impak sejalan dengan penurunan sifat kekerasan[7].

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian MPI terhadap pengelasan kombinasi, FCAW dan GMAW baja ASTM A36 sesuai pada Gambar 2

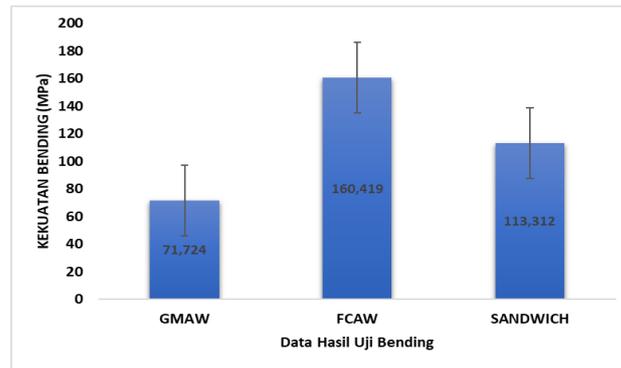


Gambar 2. Pengujian MPI pengelasan FCAW (a), GMAW (b) dan kombinasi (c)

Pada Gambar 2 hasil pengujian MPI diketahui bahwa pengelasan FCAW(a), GMAW(b) dan kombinasi(c) ditemukan beberapa titik cacat berupa retak dan porositas, maka dipilihlah daerah yang bersih dan aman dari titik cacat untuk dibentuk menjadi spesimen uji *bending* dan struktur mikro. Pemotongan spesimen *bending* berdasarkan AWS D1.1: 2020 sesuai Gambar 3, bahwa setiap jenis pengelasan menggunakan 3 pengulangan.



Gambar 3. Spesimen uji *bending* FCAW, GMAW dan kombinasi *sandwich* .



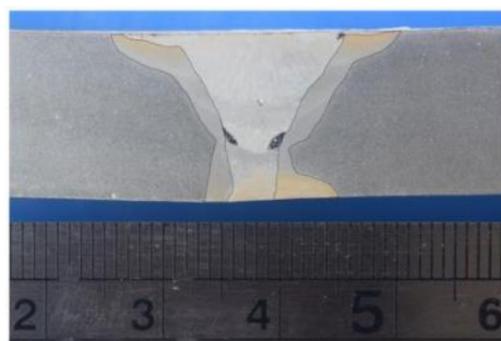
Gambar 4. Grafik hasil uji *bending*

Nilai uji *bending* yang sesuai gambar 4, bahwa pengelasan GMAW terukur sebesar 71.724 MPa dengan standar deviasi 12.94, pada pengelasan FCAW terukur 160.419 MPa dengan standar deviasi 14.20 dan pada pengelasan kombinasi terukur sebesar 113.319 MPa dengan standar deviasi 8.84. Ditemukan bahwa pengelasan kombinasi dari pengelasan kombinasi GMAW-FCAW menghasilkan kekuatan sambungan las lebih tinggi dari pengelasan GMAW, namun lebih rendah dari FCAW. Jika nilai pengelasan GMAW dijadikan pembandingan, maka pengelasan FCAW menunjukkan peningkatan nilai hingga 123,6% dan pengelasan kombinasi menunjukkan peningkatan nilai 57,9%.

Hasil uji *bending* menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekuatan antar setiap variasi pengelasan dapat dipengaruhi oleh perbedaan teknologi las. Pada pengelasan GMAW elektrodanya memiliki bentuk tabung solid tanpa adanya fluks, selain diameter elektroda GMAW lebih kecil (\varnothing 0.8 mm) sehingga membutuhkan waktu lebih panjang untuk mengisi lapisan layer, sehingga berdampak terhadap lebar HAZ pada hasil lasan. Gas pelindung pada GMAW hanya mampu melindungi daerah di sekitar nozel, daerah yang telah terlewati akan terkontaminasi udara bebas, sehingga dapat menyebabkan cacat seperti porositas atau lubang jarum (*pin hole*)[8]. Pendinginan yang terlalu cepat tanpa adanya *post heat* dapat menyebabkan retak di sekitar daerah lasan disebabkan tegangan yang muncul dari proses pendinginan[9].

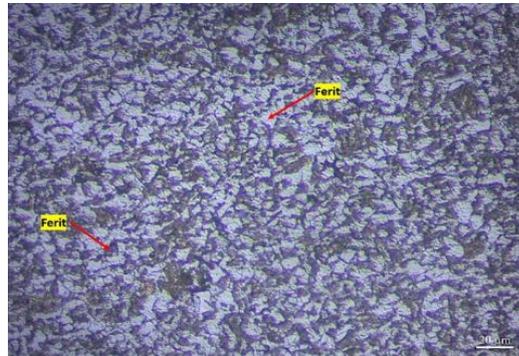
Pada pengelasan FCAW elektroda dilapisi fluks dengan diameter (\varnothing 1.2 mm) yang mampu menghasilkan lapisan pelindung[10]. Diameter elektroda yang lebih tebal mampu mempersingkat waktu proses pengisian tiap layer, berdampak terhadap lebar HAZ yang minimum[11]. Fluks selain membentuk lapisan pelindung berfungsi juga membentuk paduan logam las yang mampu meningkatkan sifat mekanik pada hasil lasan. Pada FCAW lapisan pelindung fluks ikut membeku di permukaan logam las sehingga mencegah kontaminasi udara sepanjang bidang las, berbeda dengan GMAW yang hanya dapat melindungi di sekitar daerah *nozel*. Fluks pada permukaan logam las mencegah perpindahan panas sehingga menurunkan kecepatan pendinginan daerah lasan, sehingga dapat menghindari cacat retakan akibat tegangan saat pembekuan.

Pada pengelasan kombinasi dilakukan pengelasan secara bergantian GMAW-FCAW seperti Gambar 1. Pengelasan kombinasi mampu meningkatkan keuletan hasil lasan, namun menurunkan kekuatan *bending* dan tarik. Pada tahun 2022 penelitian terhadap pengelasan kombinasi SMAW dan GTAW menghasilkan peningkatan kekuatan impact terhadap input panas sedang, namun menghasilkan nilai kekerasan terendah[7]. Pengelasan GMAW diameter elektroda kecil, waktu pengelasan panjang dan kecepatan pendinginan tinggi, sedangkan pada pengelasan FCAW diameter besar, waktu pengelasan cepat dan pendinginan lambat. Pengelasan kombinasi menurunkan kecepatan pendinginan las GMAW sehingga memperbaiki struktur mikro logam las[12], memberikan unsur paduan yang berasal dari flux sehingga mampu meningkatkan keuletan bahan[13]. Struktur mikro pada daerah logam las dan HAZ pada pengelasan FCAW, GMAW dan kombinasi dianalisa. Hasil foto HAZ pada FCAW dapat dilihat pada Gambar 5.

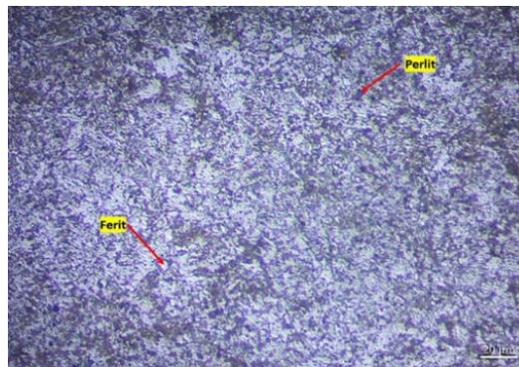


Gambar 5. Foto HAZ pengelasan FCAW

Pada Gambar 5 merupakan foto pengelasan FCAW, sehingga dapat diukur panjang HAZ dengan nilai rata 2,7 mm. Lebar HAZ tersebut di perkirakan karena *input* panas dari pengelasan FCAW lebih rendah dibandingkan GMAW. *Input* panas tersebut berdampak terhadap struktur mikro yang terbentuk. Pada Gambar 6 dan 7 merupakan foto struktur mikro daerah pengelasan dan HAZ. Berdasarkan analisa *software* sebaran perlit berkisar 60% pada HAZ dan 78% pada logam las.

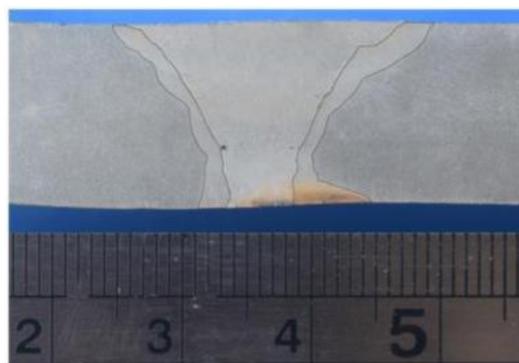


Gambar 6. Foto struktur mikro HAZ pengelasan FCAW



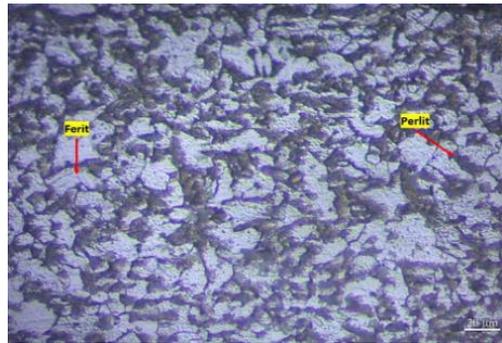
Gambar 7. Foto struktur mikro logam las pengelasan FCAW

Struktur butiran halus meningkatkan kekuatan tarik dan *bending* dari logam las[14]. Pada Gambar 6 ditemukan bahwa daerah HAZ memiliki struktur butiran lebih kasar dibandingkan daerah logam las di Gambar 7. Persentasi struktur perlit tinggi mampu meningkatkan kekuatan tarik dan *bending*.

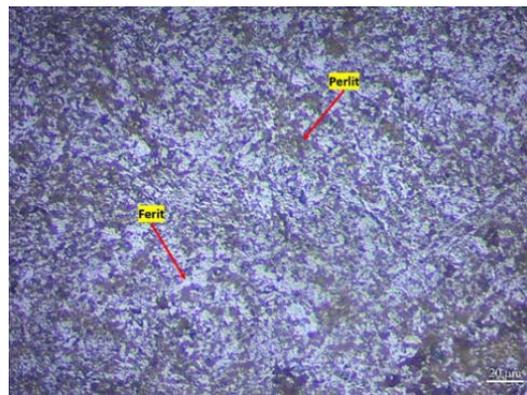


Gambar 8. Foto HAZ pada pengelasan GMAW

Pada Gambar 8 menunjukkan daerah pengelasan GMAW, sehingga dapat diukur panjang HAZ dengan nilai rata 2,1 mm. Lebar HAZ tersebut di karenakan input panas dari pengelasan GMAW tinggi. Input panas tersebut berdampak terhadap struktur mikro.

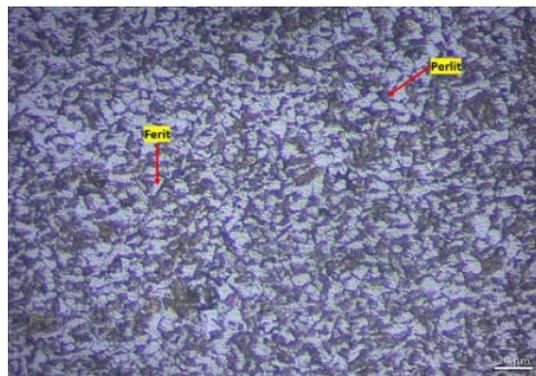


Gambar 9. Foto struktur mikro HAZ pengelasan GMAW

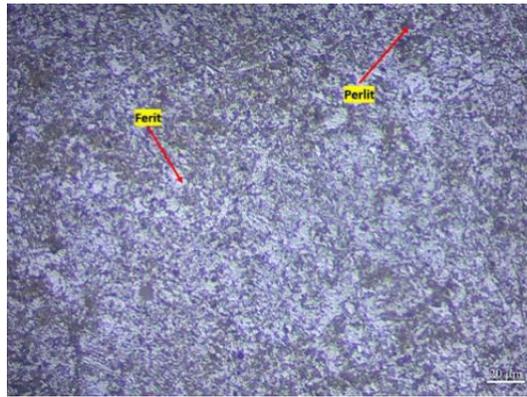


Gambar 10. Foto struktur mikro logam las GMAW

Pada Gambar 9 diketahui butiran struktur mikro HAZ terlihat lebih kasar dibandingkan daerah logam las di Gambar 10. Butiran yang halus disebabkan oleh kecepatan pendinginan lambat dan pemanasan ulang seperti *pre-heat* pada pengelasan. Butiran halus akan berdampak terhadap kekuatan mekanik yang menjadi lebih ulet. Sebaran struktur perlit terukur 65% di HAZ dan 68% di logam las sehingga nilai sebaran perlit hampir sama antara HAZ dan logam las. Maka tidak terjadi peningkatan jumlah perlit yang signifikan pada daerah logam las, dimana struktur perlit mampu meningkatkan sifat tangguh dan ulet material. Namun, selain sebaran struktur, ukuran butiran juga memiliki dampak terhadap sifat mekanik[15].



Gambar 11. Foto struktur mikro HAZ pada pengelasan kombinasi



Gambar 12. Foto struktur mikro logam las pada pengelasan kombinasi

Pada Gambar 11 struktur mikro daerah HAZ menunjukkan struktur kasar dan pada logam las terlihat struktur yang lebih halus di Gambar 12. Struktur pada logam las pengelasan kombinasi tampak lebih kecil jika dibandingkan pengelasan GMAW, namun lebih besar dibandingkan pengelasan FCAW. Variasi temperatur yang berbeda menjadikan perubahan pada struktur pengelasan kombinasi, sehingga terjadi perubahan sifat mekanik pada hasil pengelasan kombinasi. Sebaran struktur perlit pada HAZ dan daerah lasan secara berturut adalah 65 % dan 70%, maka terjadi peningkatan jumlah perlit meskipun tidak sebanyak pada FCAW.

4. Kesimpulan

Secara umum berdasarkan foto daerah logam las memiliki struktur lebih halus dibandingkan daerah HAZ. Struktur pada logam las memiliki berbagai tingkat kehalusan berdasarkan metode pengelasannya yaitu FCAW, kombinasi dan GMAW diurutkan berdasarkan tingkat kehalusan tinggi ke rendah. Nilai sebaran perlit terukur tertinggi di FCAW 78%; kombinasi 70% dan GMAW 68%, sehingga berdampak terhadap kekuatan impact. Nilai kekuatan impact terukur dari yang tertinggi adalah FCAW 160.419 MPa, kombinasi 113.319 MPa dan GMAW 71.724 MPa. Pada penelitian diketahui bahwa perubahan nilai kekuatan impact mengikuti tingkat kehalusan struktur dan nilai sebaran perlit untuk setiap metode pengelasan. Teknologi pengelasan dan teknik multi layer berpengaruh terhadap temperatur *input* dan kecepatan pendinginan. Nilai temperatur input dan kecepatan pendinginan akan menentukan sebaran struktur yang terbentuk pada logam las.

5. Saran

Diperlukan pengukuran temperatur dengan alat yang akurat seperti *thermal camera*.

Daftar Pustaka

- [1] P. Hariprasath, P. Sivaraj, V. Balasubramanian, S. Pilli, and K. Sridhar, "Effect of the welding technique on mechanical properties and metallurgical characteristics of the naval grade high strength low alloy steel joints produced by SMAW and GMAW," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 37, pp. 584–595, May 2022, doi: 10.1016/J.CIRPJ.2022.03.007.
- [2] H. Pratikno, N. A. Pahlawan, and W. L. Dhanista, "Comparative Analysis of FCAW, and GMAW Welding With Heat Input Variations on A36 Steel Against Vickers Hardness Test and Macrostructure," *International Journal of Offshore and Coastal Engineering (IJOCE)*, vol. 5, no. 2, pp. 59–61, Nov. 2021, doi: 10.12962/J2580-0914.V4I4.10931.
- [3] B. K. Khamari, S. S. Dash, S. K. Karak, and B. B. Biswal, "Effect of welding parameters on mechanical and microstructural properties of GMAW and SMAW mild steel joints," *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 47, no. 8, pp. 844–851, Sep. 2020, doi: 10.1080/03019233.2019.1623592.
- [4] D. Zulrahman, A. S. Nurrohmayati, P. Studi, T. Mesin, U. Muhammadiyah, and K. Timur, "The Effect Of Welding Current And Electrodes On The Results Of AISI 1045 Steel Welding Strength By Impact Testing," *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 3, Dec. 2022, doi: 10.21070/PELS.V3I0.1330.
- [5] A. Setiawan, K. Witono, and N. Diterima, "Pengaruh Temperatur Pelat-Landasan Pada Jig Hot-Gas Welding Dan Sudut V-Groove Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Hdpe Sheet," *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, Jun. 2022, doi: 10.33795/JETM.V5I01.116.
- [6] A. Waqas, X. Qin, J. Xiong, H. Wang, and C. Zheng, "Optimization of Process Parameters to Improve the Effective Area of Deposition in GMAW-Based Additive Manufacturing and its Mechanical and Microstructural Analysis," *Metals 2019, Vol. 9, Page 775*, vol. 9, no. 7, p. 775, Jul. 2019, doi: 10.3390/MET9070775.

- [7] S. Desmon, I. Nugraha, and R. Dewi, "Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan, Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baja Jis Ss400," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 78–85, Aug. 2022, doi: 10.32832/AME.V8I2.4222.
- [8] H. Helianto, E. Epriyandi, and H. Rahmadi, "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las," *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 7, no. 2, pp. 138–147, Dec. 2020, doi: 10.34128/JE.V7I2.148.
- [9] H. Pratikno, A. Husin Baredwan, and W. L. Dhanistha, "Effect of Preheating Process and V Groove Type on the Tensile and Metallography Test of ASTM A53 with A36 Weld Joint Using FCAW Method," *International Journal of Offshore and Coastal Engineering (IJOCE)*, vol. 6, no. 2, pp. 40–45, Nov. 2021, doi: 10.12962/IJ25800914.V6I2.14769.
- [10] W. R. Prahara and M. N. Ilman, "Dampak Variasi Kecepatan Pengelasan Terhadap Kekerasan HAZ pada Pengelasan In-Service Sleeve Metode FCAW dan Pipa API 5L Grade B serta Batasan Aman Terhadap Risiko Hydrogen Cracking," *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 3, no. 1, pp. 1–12, Feb. 2022, doi: 10.31284/jjtm.2022.v3i1.2938.
- [11] H. Isworo, R. Subagyo, and R. N. Hidayah, "Pengaruh Variasi Temperatur Preheating Dan Kuat Arus Terhadap Uji Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Smaw Baja," *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 8, no. 2, pp. 141–148, 2021, doi: 10.34128/JE.V8I2.172.
- [12] A. Ardi, M. H. Asri, and M. Mardin, "Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Sambungan Terhadap Karakteristik Mekanis Baja Karbon Rendah Hasil Pengelasan SMAW Dan GTAW," *Innovative: Journal Of Social Science Research*, vol. 4, no. 1, pp. 12201–12219, Feb. 2024, doi: 10.31004/INNOVATIVE.V4I1.9002.
- [13] Y. R. Pratiwi and S. S. Wibowo, "Kombinasi Proses Pengelasan Dalam Variasi Sudut Terhadap Sudut Distorsi Dan Kekerasan Hasil Pengelasan," *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 4, no. 3, pp. 352–358, Aug. 2019, doi: 10.28926/BRILIANT.V4I3.354.
- [14] S. Desmon, I. Nugraha, and R. Dewi, "Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan, Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baja Jis Ss400," *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 78–85, Aug. 2022, doi: 10.32832/AME.V8I2.4222.
- [15] J. Putra *et al.*, "Kajian Kuat Tarik Baja Pada Profil Berlubang Yang Diisi Dengan Pengelasan Fcaw (Flux Core Arc Welding)," *Jurnal Darma Agung*, vol. 31, no. 6, pp. 294–303, Dec. 2023, doi: 10.46930/OJSUDA.V31I6.3927.