

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS TERHADAP KETEBALAN PLAT DAN HASIL PENGELASAN PADA PROSES PENGELASAN FCAW DI PT DHJ

M. Zaki Miladi Auwan⁽¹⁾, M. Fajar Sidiq⁽²⁾

⁽¹⁾⁽²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasakti Tegal

Zakimiladi7@gmail.com

Abstrak

Pengelasan merupakan proses penting dalam industri fabrikasi baja, termasuk dalam pembangunan infrastruktur skala besar. Salah satu metode pengelasan yang umum digunakan adalah Flux Cored Arc Welding (FCAW), yang memiliki efisiensi tinggi dan penetrasi baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus terhadap ketebalan plat dan hasil pengelasan FCAW. Penelitian dilakukan melalui observasi langsung di PT DHJ dengan objek baja SS400 dan variasi arus 130 A hingga 325 A. Hasil menunjukkan bahwa arus pengelasan sangat memengaruhi kualitas sambungan, dengan cacat visual seperti porositas, undercut, dan incomplete fusion muncul akibat arus yang tidak sesuai. Arus optimal berbeda untuk tiap ketebalan plat, misalnya 130 A untuk plat 6 mm dan 270 A untuk plat 20 mm.

Kata Kunci: FCAW, arus pengelasan, ketebalan plat, hasil las, baja SS400.

Abstract

Welding is an important process in the steel fabrication industry, including in large-scale infrastructure construction. One commonly used welding method is Flux Cored Arc Welding (FCAW), which has high efficiency and good penetration. This study aims to analyze the effect of current variations on the thickness of the plate and the results of FCAW welding. The study was conducted through direct observation at PT DHJ with SS400 steel objects and current variations of 130 A to 325 A. The results showed that welding currents strongly affect the quality of the connection, with visual defects such as porosity, undercut, and incomplete fusion appearing due to inappropriate currents. The optimal current is different for each plate thickness, for example 130 a for a 6 mm plate and 270 a for a 20 mm plate.

Keywords: FCAW, welding current, plate thickness, welding results, SS400 steel

Pendahuluan

Dalam dunia industri modern, kebutuhan akan struktur logam yang kuat, presisi, dan efisien semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan pesat sektor infrastruktur, konstruksi, manufaktur, serta energi. Salah satu elemen yang sangat vital dalam proses produksi struktur logam adalah proses pengelasan. Pengelasan bukan sekadar metode penyambungan logam, tetapi juga menjadi faktor penentu terhadap kekuatan struktural, efisiensi biaya, dan ketahanan produk dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemilihan metode dan parameter pengelasan harus dilakukan secara cermat dan berdasarkan pertimbangan teknis yang matang.

Salah satu metode pengelasan yang banyak diterapkan di industri adalah Flux Cored Arc Welding (FCAW). FCAW merupakan proses pengelasan semi-otomatis yang memanfaatkan kawat las tubular berisi fluks sebagai elektroda. Metode ini dipilih karena menawarkan berbagai keunggulan, antara lain: efisiensi kerja tinggi, kemampuan penetrasi dalam, fleksibilitas dalam berbagai posisi pengelasan, serta kemudahan dalam pengoperasian. FCAW sangat cocok digunakan

dalam pengelasan struktur baja berat seperti jembatan, tangki, rangka bangunan, hingga struktur industri lainnya.

Namun demikian, keberhasilan pengelasan FCAW tidak hanya bergantung pada metode, tetapi juga ditentukan oleh parameter proses, salah satunya adalah arus listrik (ampere). Arus listrik berperan langsung dalam menentukan intensitas panas busur listrik yang terbentuk. Jika arus terlalu rendah, maka penetrasi las akan dangkal dan fusi antara logam dasar dan logam pengisi tidak optimal. Sebaliknya, jika arus terlalu tinggi, maka dapat menyebabkan cacat las seperti porositas, undercut, spatter berlebih, bahkan burn-through (tembus lebur). Dengan kata lain, pemilihan arus yang tepat adalah kunci utama untuk mendapatkan hasil pengelasan yang berkualitas.

Dalam praktik industri, PT DHJ sebagai perusahaan yang bergerak di bidang fabrikasi dan konstruksi baja telah menerapkan metode pengelasan FCAW pada berbagai tahapan proses produksinya. Penerapan metode ini didukung oleh komitmen perusahaan terhadap standar kualitas yang tinggi, serta konsistensi dalam pengaturan parameter pengelasan guna memastikan mutu hasil sambungan yang dihasilkan.

Untuk itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan utama untuk menganalisis pengaruh variasi arus terhadap ketebalan pelat dan hasil pengelasan FCAW yang diterapkan di PT Duta Hita Jaya. Penelitian dilakukan secara observasional, dengan mengamati langsung proses pengelasan baja karbon rendah jenis SS400 menggunakan variasi arus pada pelat dengan ketebalan 6 mm hingga 20 mm. Evaluasi hasil pengelasan dilakukan melalui inspeksi visual untuk mengidentifikasi cacat las serta pengamatan bentuk bead dan penetrasi.

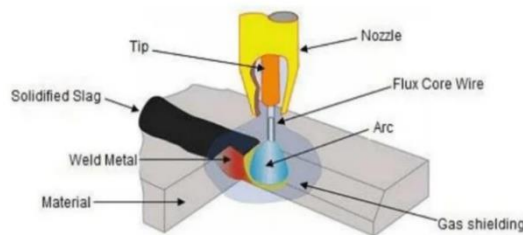
Landasan Teori

1. FCAW (Flux Core Arc Welding)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) banyak diaplikasikan di sektor industri karena mampu menghasilkan laju deposisi yang tinggi, efisiensi kerja yang baik, serta fleksibilitas penggunaan pada berbagai posisi pengelasan, termasuk pada pengelasan pelat dengan ketebalan besar (Setiawan *et al.*, 2022).

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan proses pengelasan yang memanfaatkan arus listrik searah (DC) atau bolak-balik (AC) yang bersumber dari pembangkit listrik atau transformator dan *rectifier*, kemudian dikonversi menjadi panas melalui pembentukan busur listrik. FCAW termasuk metode pengelasan semi-otomatis yang menggunakan kawat elektroda berbentuk tubular berisi fluks (*flux cored*), dengan perlindungan gas yang berasal dari gas eksternal maupun hasil pembakaran fluks itu sendiri. Busur listrik terbentuk antara kawat elektroda dan logam induk sehingga menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan dan menyatukan material yang dilas (Prasetyo *et al.*, 2020).

Geometri manik las pada proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) sangat dipengaruhi oleh parameter pengelasan yang digunakan (Abbasi *et al.*, 2012). Parameter tersebut berperan penting karena luas penampang manik las memengaruhi laju pendinginan sambungan las (Dey *et al.*, 2009), sementara ukuran penampang manik juga berkaitan langsung dengan karakteristik pembentukan lasan (Sandor *et al.*, 2007). Selain itu, rasio antara kedalaman penetrasi dan lebar las diketahui berpengaruh terhadap tegangan sisa serta potensi terjadinya retakan pada hasil pengelasan (Yukler *et al.*, 1999). Berdasarkan hal tersebut, kualitas sambungan dan sifat mekanik hasil las sangat ditentukan oleh ukuran serta bentuk manik las yang dihasilkan (Bauer *et al.*, 2011; De A *et al.*, 2004). Oleh karena itu, parameter pengelasan perlu dioptimalkan untuk memperoleh sambungan las dengan geometri manik yang sesuai dan kualitas las yang baik (Benyounis *et al.*, 2008). Dalam penelitian ini, fokus utama diarahkan pada pengaruh arus pengelasan FCAW terhadap sifat mekanik hasil las, dengan parameter yang diamati meliputi kedalaman penetrasi, lebar las, dan luas penampang manik las.



Gambar 1: Sekema Pengelasan FCAW

Pada pengelasan FCAW mempunyai dua tipe yang dibedakan menurut jenis perlindungan yang digunakan yaitu Self Shielding dan Gas Shielding, yang dibedakan menurut jenis perlindungan yang digunakan yaitu:

- a. Selfshielding FCAW adalah pengelasan FCAW yang menggunakan *flux* yang berada di inti kawat las untuk melindungi logam las saat mencair.
- b. Gas *Shielding* FCAW adalah proses pengelasan FCAW yang menggunakan *flux* dan tambahan gas yang berasal dari luar sistem atau gas dari tabung.

Kedua jenis pelindung ini akan sama-sama menghasilkan sebuah terak las yang cukup memadai untuk mampu melindungi metal las yang akan mengalami pembekuan. Perbedaan dari kedua tipe pelindung terletak pada tambahan sistem pemasok gas serta welding torch yang digunakan.

Pengelasan FCAW umumnya menggunakan gas CO, atau campuran CO, dengan Argon sebagai gas pelindung. Tetapi untuk menghindari logam las terkontaminasi udara luar atau menghindari porosity maka harus dilakukan pemilihan fluks yang mengandung atau mempunyai sifat pengikat oksigen atau *deoxidizer*.

2. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan jenis baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%, sehingga memiliki sifat mudah dibentuk, mudah dilas, serta ketangguhan yang baik. Karakteristik tersebut menjadikan baja karbon rendah banyak digunakan pada berbagai sektor industri, seperti konstruksi, otomotif, dan manufaktur umum (Marulam, Y. P., 2019). Selain itu, material ini dikenal memiliki tingkat keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Secara mikrostruktur, baja karbon rendah tersusun atas fasa ferit yang dominan dengan kandungan perlit dalam jumlah kecil.

Baja SS400 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon di bawah 0,3%. Material ini banyak digunakan pada berbagai aplikasi konstruksi, seperti jembatan, pelat kapal laut, tangki minyak, serta struktur baja lainnya. Baja SS400 dikenal memiliki kekuatan tarik yang memadai, kemudahan dalam proses pembentukan dan pengelasan, serta ketahanan terhadap korosi yang cukup baik untuk kebutuhan konstruksi umum.

3. Pengaruh Arus Pada Hasil Pengelasan

Besarnya arus pada proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) berpengaruh signifikan terhadap kualitas visual hasil pengelasan. Penggunaan arus yang tidak sesuai, baik terlalu rendah maupun terlalu tinggi, dapat memicu munculnya berbagai cacat las dan menurunkan mutu sambungan. Arus yang terlalu rendah cenderung menghasilkan busur listrik yang tidak stabil serta penetrasi las yang kurang optimal. Sebaliknya, arus yang berlebihan dapat menyebabkan percikan (*spatter*) yang berlebihan, *undercut*, dan *over spatter*. Penelitian yang dilakukan oleh Krestanto dan Ningsih (2023) menunjukkan bahwa penggunaan arus sebesar 140 A menghasilkan nilai kekerasan terbaik pada baja ASTM A36, karena mampu memberikan keseimbangan yang optimal antara panas pengelasan, kedalaman penetrasi, dan penyatuan antara logam induk dan logam pengisi.

4. Pengaruh Arus Terhadap Ketebalan Plat

Pada proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), pemilihan arus listrik merupakan parameter yang sangat menentukan karena berpengaruh langsung terhadap jumlah energi panas yang dihasilkan oleh busur listrik. Arus pengelasan yang terlalu rendah akan menghasilkan penetrasi las yang dangkal, sehingga sambungan tidak mampu menembus ketebalan pelat secara optimal, khususnya pada pelat baja dengan ketebalan besar. Sebaliknya, penggunaan arus yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan *burn-through* pada pelat tipis, serta memicu deformasi termal dan berbagai cacat las, seperti porositas dan *undercut*.

Penelitian yang dilakukan oleh Vio Krestanto dan Tri Hartutuk Ningsih menunjukkan bahwa pada pengelasan baja ASTM A36 dengan variasi arus 100 A, 120 A, dan 140 A, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada arus 140 A. Hasil tersebut dikaitkan dengan kedalaman penetrasi yang lebih baik serta sifat mekanik sambungan las yang lebih optimal.

5. Pengujian Visual Hasil Pengelasan

Pemeriksaan visual merupakan tahap awal yang krusial dalam pengendalian mutu pengelasan FCAW. Penggunaan arus pengelasan yang sesuai tidak terlalu rendah maupun terlalu tinggi berperan penting dalam meminimalkan terjadinya cacat visual, seperti *spatter*, *undercut*, *overlap*, dan *burn-through*. Oleh karena itu, inspeksi visual perlu dilakukan setelah setiap proses pengelasan sebagai langkah awal evaluasi, sebelum dilanjutkan ke pengujian non-destruktif (NDT) atau pengujian mekanik.

6. Pengaruh Hasil Pengelasan dengan Arus yang Sesuai

Pada proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), pengaturan arus listrik yang tepat menjadi faktor kunci dalam menghasilkan kualitas pengelasan yang optimal. Penyesuaian arus terhadap ketebalan pelat, diameter kawat las, serta parameter teknis lainnya akan berkontribusi langsung terhadap mutu sambungan, baik dari aspek kekuatan mekanik, tampilan visual, maupun keamanan struktur yang dihasilkan.

7. Pengaruh Hasil Pengelasan Jika Menggunakan Arus yang Tidak Sesuai.

Pengaturan arus listrik pada proses *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas hasil pengelasan. Besarnya arus harus disesuaikan dengan ketebalan pelat, jenis kawat las yang digunakan, serta posisi pengelasan. Ketidaksiuaian arus pengelasan dapat memicu munculnya berbagai cacat las yang tidak hanya menurunkan kekuatan sambungan, tetapi juga memengaruhi kualitas visual hasil las.

Metode Penelitian

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan eksperimen terapan di lapangan. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui observasi langsung terhadap proses pengelasan menggunakan metode *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) pada pelat baja SS400 dengan variasi ketebalan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi arus listrik (ampere) terhadap kualitas hasil pengelasan secara visual, sekaligus menentukan besaran arus optimal yang sesuai untuk setiap ketebalan pelat yang diuji.

Penelitian ini tidak mencakup pengujian mekanik lanjutan, seperti uji tarik maupun analisis metalografi. Fokus penelitian diarahkan pada pengamatan visual dan pendokumentasian hasil pengelasan, yang disesuaikan dengan prosedur pengendalian mutu yang umum diterapkan dalam praktik industri.

2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Workshop PT Duta Hita Jaya, berlokasi di Cileungsi, Bogor Jawa Barat. Kegiatan pengamatan dilakukan selama masa magang penulis di perusahaan tersebut, yaitu antara bulan Februari hingga Juni 2025.

3. Objek Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah tipe SS400, yaitu jenis baja yang umum digunakan dalam struktur konstruksi seperti jembatan, rangka bangunan, dan conveyor. Baja ini dipilih karena sifatnya yang mudah dilas dan memiliki kekuatan mekanis yang baik.

Variasi ketebalan pelat yang digunakan dalam penelitian adalah:

- a. 6 mm
- b. 9 mm
- c. 10 mm
- d. 15 mm
- e. 20 mm

4. Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas: Arus listrik (dalam satuan Ampere) yang divariasikan pada setiap ketebalan pelat.
- b. Variabel terikat: Hasil pengelasan (visual), yang meliputi penetrasi las, kerapian dan bentuk bead, cacat las yang muncul (porositas, undercut, incomplete fusion, spatter).

5. Alat dan Bahan

- a. Mesin Las: Mitec NBC 500M (mesin MIG/MMA).
- b. Jenis Las: FCAW dengan metode Gas Shielding.
- c. Elektroda: E71T-GS, diameter 1,2 mm.
- d. Gas pelindung: CO₂.
- e. Alat bantu: Kaca mata las, alat ukur dimensi bead, sikat kawat, kamera dokumentasi.
- f. Material: Plat baja SS400 dengan variasi ketebalan seperti disebutkan di atas.

6. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif sederhana. Data visual diklasifikasikan berdasarkan:

- a. Ketebalan pelat.
- b. Besar arus yang digunakan.
- c. Jenis cacat yang muncul.
- d. Penilaian subjektif terhadap kualitas las (baik, cukup, buruk).

Data kemudian dirangkum dalam bentuk tabel dan grafik, serta dilakukan interpretasi untuk menentukan hubungan antara variasi arus dan kualitas hasil las. Penentuan arus optimal didasarkan pada pengelasan yang menghasilkan lasan rapi, bebas cacat visual, dan memiliki penetrasi yang cukup.

Hasil Penelitian Dan Pembahasan

1. Hasil Pengamatan Visual Pengelasan

Penelitian ini menghasilkan data pengamatan dari proses pengelasan menggunakan metode FCAW pada pelat baja SS400 dengan variasi ketebalan dan arus. Setiap proses pengelasan diamati secara visual untuk menilai kualitas lasan, cacat yang muncul, dan kesesuaian penetrasi. Hasil pengelasan dikategorikan berdasarkan ketebalan pelat sebagai berikut:

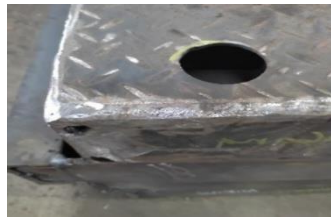
- a. Pelat 6 mm

- Arus 130 A, hasil pengelasan rapi, bead las simetris, penetrasi cukup, tidak ditemukan cacat visual.



Gambar2. Hasil pengelasan Pelat 6 mm arus 130 A

- Arus 140 A, muncul porositas (lubang kecil di permukaan las), kemungkinan akibat arus berlebih dan gas pelindung tidak cukup menstabilkan kolam las.



Gambar3. Hasil pengelasan Pelat 6 mm arus 140 A

Analisis, ntuk pelat 6 mm, arus 130 A adalah yang paling ideal. Arus 140 A terlalu tinggi, menyebabkan penguapan cepat dan oksidasi.

b. Pelat 9 mm

- Arus 190 A:
Lasan rapi, tampilan permukaan bersih, penetrasi cukup, tidak ditemukan cacat.
 - Gambar3. Hasil pengelasan Pelat 6 mm arus 140 A
 - Gambar3. Hasil pengelasan Pelat 6 mm arus 140 A
 - Gambar3. Hasil pengelasan Pelat 6 mm arus 140 A



Gambar 4. Hasil Pengelasan Pelat 9 mm Arus 190 A

- Arus 210 A:
Muncul porositas dan ketidakteraturan permukaan. HAZ terlihat melebar dan warna pengelasan menghitam.



Gambar 5. Hasil Pengelasan Pelat 9 mm Arus 210 A

Analisis, arus 190 A ideal untuk pelat 9 mm. Arus 210 A terlalu tinggi, menimbulkan cacat porositas dan kemungkinan overheating.

c. Pelat 10 mm

- Arus 184 A:
Terjadi incomplete fusion (penyatuan logam tidak sempurna). Bead tidak menyatu dengan base metal.



Gambar 6. Hasil Pengelasan Pelat 10 mm Arus 184 A

- Arus 244 A:
Lasan rapi, tidak ada cacat visual, penetrasi baik.



Gambar 7. Hasil Pengelasan Pelat 10 mm Arus 244 A

- Arus 253 A:
Terjadi undercut dan spatter berlebih. Tampak HAZ sangat lebar.



Gambar 8. Hasil Pengelasan Pelat 10 mm Arus 253 A

Analisis, arus optimal berada pada 244 A. Arus 184 A terlalu rendah, sedangkan 253 A terlalu tinggi dan menyebabkan cacat visual yang signifikan.

d. Pelat 15 mm

- Arus 255 A:
Lasan cukup baik meskipun ada pinhole kecil.



Gambar 9. Hasil Pengelasan Pelat 15 mm Arus 255 A

- Arus 270 A:
Porositas parah sepanjang jalur las.



Gambar 10. Hasil Pengelasan Pelat 15 mm Arus 270 A

Analisis, penggunaan arus di atas 260 A mulai memunculkan cacat berat pada pelat ini. Arus 255 A masih dalam batas optimal.

e. Pelat 20 mm

- Arus 270 A:
Hasil lasan bersih dan menyatu dengan baik.



Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Pelat 20 mm Arus 270 A

- Arus 310 A:
Terjadi undercut, warna permukaan menghitam, HAZ sangat besar.



Analisis, arus 270 A memberikan hasil terbaik untuk pelat 20 mm. Arus 310 A menimbulkan overheating dan cacat yang serius.

2. Rangkuman Arus Optimal untuk Masing-Masing Ketebalan

No	Ketebalan Matrial (mm)	Arus Optimal (A)	Cacat yang Muncul Jika Melewati Batas
1.	6	130	Porositas
2.	9	190	Porositas, HAZ melebar
3.	10	244	Incomplete fusion (bila <184 A), undercut, spatter (>253 A)
4.	15	255	Pinhole (255 A), porositas parah (270 A)
5.	20	270	Undercut, burn-through, HAZ terlalu luas (310 A)

3. Jenis-Jenis Cacat Las yang Ditemukan

Beberapa cacat visual yang ditemukan selama pengamatan meliputi:

- Porositas: Lubang kecil akibat gas yang terperangkap. Umum pada arus tinggi.
- Undercut: Lekukan pada sisi sambungan akibat arus besar dan travel speed tidak stabil.
- Incomplete Fusion: Sambungan tidak menyatu sempurna akibat arus terlalu rendah.
- Spatter: Percikan logam cair berlebihan pada sekitar lasan.
- Pinhole: Lubang kecil di ujung bead, biasanya akibat akhir pengelasan yang tidak dikontrol.

4. Pembahasan Umum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus pengelasan harus disesuaikan dengan ketebalan pelat agar tercapai penetrasi yang memadai tanpa menimbulkan cacat. Semakin tebal pelat, semakin besar arus yang dibutuhkan, namun harus tetap dalam batas toleransi material, kesesuaian arus menghasilkan:

- Kolam las yang stabil

- b. Busur listrik yang tidak terlalu panjang
- c. Zona HAZ yang terkendali
- d. Minimnya cacat visual
- e. Kerapian dan efisiensi kerja operator

Sebaliknya, penyimpangan dari arus optimal akan berdampak pada cacat visual, hasil tidak rapi, atau bahkan sambungan las yang tidak layak secara struktural.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan langsung dan analisis visual terhadap hasil pengelasan baja SS400 menggunakan metode Flux Cored Arc Welding (FCAW) dengan variasi arus dan ketebalan pelat, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Arus pengelasan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kualitas hasil las, baik dari sisi penetrasi, bentuk bead, maupun jenis cacat visual yang muncul. Arus yang terlalu rendah menyebabkan incomplete fusion, sedangkan arus yang terlalu tinggi menyebabkan porositas, undercut, dan spatter.
2. Tiap ketebalan pelat memiliki rentang arus optimal yang berbeda, di mana arus tersebut menghasilkan hasil pengelasan yang rapi, bersih, dan bebas cacat. Contohnya:
 - a. Pelat 6 mm → Arus optimal: 130 A
 - b. Pelat 10 mm → Arus optimal: 244 A
 - c. Pelat 20 mm → Arus optimal: 270 A
3. Arus yang tidak sesuai dengan ketebalan pelat berisiko menimbulkan cacat las visual, seperti porositas, undercut, spatter, pinhole, dan incomplete fusion, yang dapat menurunkan kekuatan sambungan serta memperbesar risiko kegagalan struktur.
4. Visual inspection terbukti efektif dalam mendeteksi cacat-cacat permukaan, dan dapat digunakan sebagai metode awal pengendalian kualitas pengelasan sebelum dilanjutkan ke uji non-destruktif lainnya (NDT).
5. Penyesuaian parameter pengelasan, khususnya arus, harus dilakukan secara cermat berdasarkan standar kerja dan karakteristik material agar efisiensi dan mutu produksi tetap terjaga.

Daftar Pustaka

- [1] Acmedi. (2024). 18 Macam Cacat Las dan Penyebabnya Serta Cara Mengatasi. <https://pengelasan.id/cacat-las/>. diakses pada 18 juni 2025.
- [2] Ariyanto, N. P., Wibowo, A., Rossbandrio, W., Widiastuti, H., & Kamsyah, D. (2023). Pengujian Mekanis dan Korosi pada Weld Overlay Pipa API 5L X65 Hasil Pengelasan GTAW. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan (JATRA)*, 5(1), 21–26. <https://doi.org/10.30871/jatra.v5i1.5520>.
- [3] Huka, G. I., Matheus, J. M., Nanulaita, N. J., & Pattikayhatu, E. B. (2024). *Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan FCAW Terhadap Sifat Kekerasan pada Daerah HAZ Baja Karbon Rendah*. *Journal Mechanical Engineering*, 2(1), 1–11.
- [4] Krestanto, V., Ningsih, T.H. (2023). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan FCAW Baja ASTM A36 Terhadap Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin (UNESA)*.
- [5] Marulam, Y. P. (2019). *Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi pada Baja Karbon Rendah dengan Variasi Heat Input pada Pengelasan FCAW Setelah Normalizing*. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).
- [6] Nurhasan, M., Iman, D., & Setiawan, R. (2021). Pengaruh Panas Terhadap Baja AISI 4340

- Pada Daerah HAZ, Logam Las, dan Bahan Induk Setelah Mengalami Pengelasan SMAW. *Jurnal Polimesin*, 19(1), 81–87.
- [7] 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. *Teknik Perkapalan*, 7(2), 152–160.
- [8] Prasetyo, R. D., & Hidayat, T. (2020). *Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan terhadap Kualitas Las FCAW pada Baja ASTM A36*. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unsyiah*, 14(1), 45–52.
- [9] Setiawan, A., Muslim, M. (2022). *Studi Pengaruh Parameter Pengelasan FCAW Terhadap Cacat Las pada Baja Karbon Sedang*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(1), 25–30.
- [10] Saragih R.K., Silaen E.W. (2023). Analisis Pengujian Penetrant dan Visual pada Pengelasan GMAW Baja Karbon Rendah. *Konferensi Nasional Politeknik Negeri Medan*.
- [11] Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (1981). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.