

Analisis Hasil Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) pada Komponen Leaning Rod Unit G5816 Dengan Metode Pengujian Non Destructive Test di PT. Antareja Mahada Makmur

Sunarti Sunarti*, Dedy Sukma Ramadhani, Yudhistira Galih, Arul Efendi

PT Antareja Mahada Makmur, Indonesia

Email: Yudhistira.galih47@gmail.com*

Kata Kunci	Abstrak
Leaning rod, motor grader, FCAW, NDT, porosity, undercut.	Motor grader merupakan salah satu alat penunjang utama dalam pekerjaan perataan jalan tambang. Komponen leaning rod pada unit motor grader G5816 memiliki fungsi penting dalam mempertahankan kestabilan kemiringan front axle, sehingga kondisi strukturalnya sangat menentukan efektivitas operasi grader. Kerusakan pada leaning rod umum terjadi akibat beban dinamis, getaran, keausan, dan siklus pembebanan yang terus menerus sehingga memerlukan perbaikan untuk mengembalikan fungsinya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas hasil pengelasan perbaikan pada komponen leaning rod. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kualitas pengelasan menggunakan metode Flux Cored Arc Welding (FCAW) dan inspeksi mutu las melalui Non-Destructive Test (NDT) berupa Visual Test (VT) dan Liquid Penetrant Test (LPT). Hasil evaluasi menunjukkan jenis cacat yang muncul berupa undercut dan porosity. Berdasarkan standar AWS D1.1 serta ASME Section IX Article 1 QW 195, cacat linear (undercut) dinyatakan tidak memenuhi acceptance criteria sehingga perlu dilakukan repair dan pengelasan ulang. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan NDT efektif mendeteksi ketidaksempurnaan las dan menjadi indikator penting dalam penjaminan kualitas sambungan las struktur alat berat.
Keywords Leaning rod, motor grader, FCAW, NDT, porosity, undercut.	Abstract Motor graders are one of the main supporting tools in mining road leveling work. The leaning rod component in the G5816 motor grader unit has an important function in maintaining the stability of the front axle's slope, so that its structural condition greatly determines the effectiveness of grader operation. Damage to leaning rods is common due to dynamic loads, vibrations, wear, and continuous loading cycles that require repairs to restore their function. This study aims to analyze the quality of the repair welding results on the leaning rod components. In this study, welding quality analysis was carried out using the Flux Cored Arc Welding (FCAW) method and welding quality inspection through Non-Destructive Test (NDT) in the form of Visual Test (VT) and Liquid Penetrant Test (LPT). The results of the evaluation showed the types of defects that appeared in the form of undercut and porosity. Based on the AWS D1.1 standard and ASME Section IX Article 1 QW 195, linear defects (undercut) are declared to not meet the acceptance criteria and therefore require repair and rewelding. This study shows that the application of NDT is effective in detecting weld imperfections and is an important indicator in ensuring the quality of weld joints of heavy equipment structures.



PENDAHULUAN

Penggunaan motor grader pada jalan tambang berperan signifikan untuk mempertahankan kualitas jalan hauling agar aman, stabil, dan efisien dalam mendukung kegiatan produksi batubara. Leaning rod merupakan komponen mekanis pengatur sudut kemiringan roda depan grader, yang berfungsi menjaga presisi manuver dan kestabilan operasi

unit. Kerusakan leaning rod yang terjadi pada unit G5816 PT Antareja Mahada Makmur disebabkan oleh stress mekanik, perubahan temperatur, vibrasi kontinu, serta beban siklik selama operasi. Untuk mengembalikan kekuatan material dilakukan proses pengelasan menggunakan FCAW (Kou, 2016; Silva et al., 2021; X. Zhang et al., 2018; Y. M. Zhang et al., 2020). Namun, proses pengelasan berpotensi menghasilkan cacat struktural seperti porosity, undercut, maupun incomplete fusion. Oleh sebab itu diperlukan metode inspeksi Non Destructive Test (NDT) untuk memastikan hasil perbaikan sesuai standar teknis.

Meskipun literatur telah banyak mengulas teknologi pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) dan metodologi inspeksi, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan antara kajian parameter prosedural pengelasan di lingkungan terkontrol seperti yang dibahas (Morariu et al., 2025) dengan evaluasi kualitas hasil perbaikan (repair welding) pada komponen spesifik alat berat yang beroperasi dalam kondisi riil di pertambangan. Penelitian-penelitian sebelumnya sering kali berfokus pada material baru atau prosedur standar, tanpa menyelami kompleksitas teknis dan kendala operasional yang dihadapi dalam proses perbaikan darurat di workshop fabrikasi, termasuk variasi keterampilan operator dan keterbatasan fasilitas. Kesenjangan ini menciptakan kebutuhan untuk penelitian yang mengaitkan secara langsung parameter pengelasan FCAW, prosedur inspeksi NDT, dan kriteria penerimaan (acceptance criteria) pada konteks perbaikan komponen kritis yang bersifat mendesak.

Urgensi penelitian ini muncul dari tuntutan operasional di industri pertambangan yang menitikberatkan aspek availability dan reliability alat berat (Kumar & Mahto, 2014). Kegagalan komponen seperti leaning rod dapat menyebabkan downtime operasional yang mahal dan berpotensi menimbulkan risiko keselamatan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah kerangka evaluasi yang cepat, akurat, dan dapat diandalkan untuk memastikan bahwa perbaikan pengelasan tidak hanya mengembalikan bentuk fisik, tetapi juga memulihkan integritas mekanik komponen sesuai standar keselamatan. Penelitian ini menjadi mendesak untuk menyediakan protokol inspeksi yang praktis dan berbasis standar, sekaligus mengidentifikasi akar penyebab cacat yang sering muncul dalam konteks perbaikan lapangan, sehingga dapat meminimalkan terjadinya rework dan meningkatkan efektivitas proses maintenance (Arandelovic et al., 2022).

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif yang mengkaji secara simultan penerapan metode FCAW untuk repair welding dengan evaluasi kualitas menggunakan kombinasi dua metode NDT (VT dan LPT) secara berurutan, yang diterapkan secara langsung pada komponen leaning rod motor grader yang aktif beroperasi. Selain itu, penelitian ini tidak hanya melakukan deteksi cacat, tetapi juga menghubungkan karakteristik cacat yang ditemukan (seperti ukuran dan morfologi undercut serta porosity) dengan parameter pengelasan spesifik yang digunakan di lapangan, serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan dua standar kunci (AWS D1.1 dan ASME Section IX) dalam satu analisis terpadu. Pendekatan studi kasus ini memberikan kontribusi nyata pada pengetahuan aplikatif di bidang maintenance engineering (Engineers, 2019).

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kualitas pengelasan FCAW pada leaning rod G5816. Mengidentifikasi cacat permukaan melalui Visual Test dan Liquid Penetrant Test. Membandingkan hasil pengujian dengan acceptance criteria standar AWS D1.1 dan ASME Section IX.

Manfaat penelitian ini dapat dibagi menjadi aspek teoritis dan praktis. Secara teoritis, temuan penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan di bidang metalurgi pengelasan dan teknik inspeksi nondestruktif, khususnya mengenai hubungan antara parameter proses FCAW dan terbentuknya diskontinuitas pada sambungan las reparasi. Secara praktis, penelitian ini memberikan panduan prosedural yang jelas bagi teknisi dan inspektur di industri dalam melaksanakan perbaikan dan inspeksi komponen kritis, sehingga dapat meningkatkan kualitas pekerjaan, mengurangi biaya akibat kegagalan berulang, dan yang terpenting, menjamin keselamatan operasi alat berat. Protokol evaluasi yang dihasilkan juga dapat diadopsi oleh perusahaan serupa sebagai bagian dari sistem jaminan kualitas maintenance mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Workshop Plant Fabrication PT Antareja Mahada Makmur Bengalon pada tahun 2025 dengan objek berupa komponen leaning rod unit Motor Grader G5816 yang mengalami kerusakan struktural. Proses perbaikan dilakukan melalui metode pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) menggunakan baja karbon dengan elektroda tubular diameter 1,2 mm, arus pengelasan berkisar 160–220 Ampere, posisi pengelasan 2G, dan pengaturan kecepatan gerak elektroda sesuai prosedur fabrikasi internal (Deepak et al., 2021; Surya, 2024). Tahapan inspeksi mutu sambungan las menggunakan uji Non-Destructive Test (NDT) berupa Visual Test (VT) untuk menilai profil bead, geometri sambungan, dan dimensi cacat undercut, serta Liquid Penetrant Test (LPT) untuk mendeteksi porositas dan indikasi cacat permukaan melalui aplikasi penetrant, removal, dan developer. Seluruh hasil inspeksi dibandingkan dengan acceptance criteria standar AWS D1.1 dan ASME Section IX sebagai dasar penentuan kelayakan sambungan las sebelum dan sesudah proses repair welding.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif yang bertujuan untuk menganalisis dan mendeskripsikan secara sistematis kualitas pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW) pada komponen Leaning Rod unit Motor Grader G5816. Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh cacat las yang teridentifikasi pada sambungan leaning rod pasca perbaikan (Gholizadeh, 2016; Sada, 2018). Sampel penelitian diambil secara purposive sampling dengan memilih indikasi cacat yang terdeteksi melalui pengujian Non-Destructive Test (NDT), khususnya pada area yang menunjukkan gejala undercut dan porosity yang signifikan berdasarkan hasil observasi awal. Teknik pengambilan sampel ini dipilih untuk memastikan bahwa data yang dianalisis mewakili kondisi cacat yang kritis dan relevan dengan tujuan penelitian.

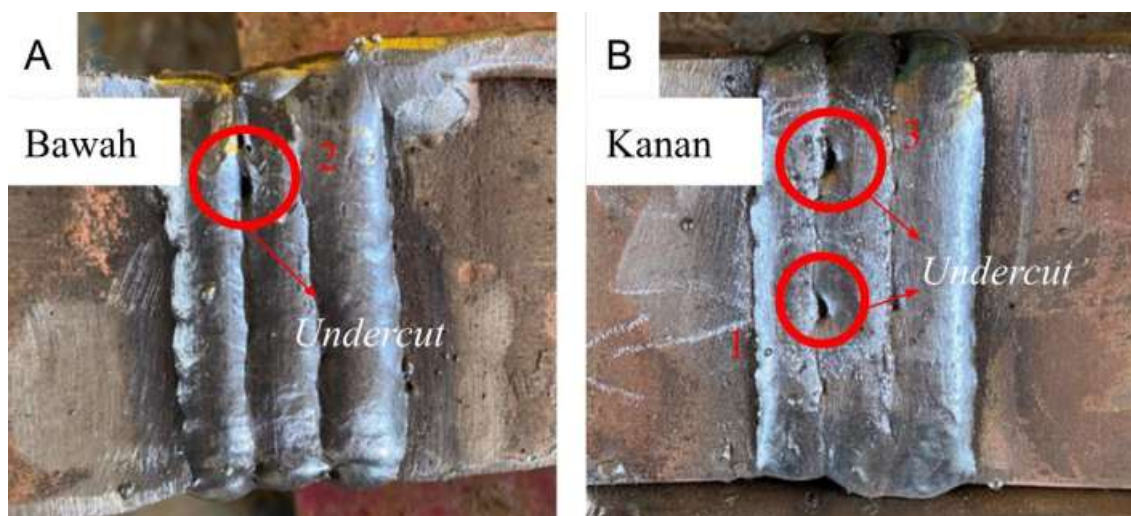
Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat uji NDT, yaitu alat Visual Test (VT) yang mencakup lup inspeksi, penggaris las, dan gauge, serta perangkat Liquid Penetrant Test (LPT) yang terdiri dari penetrant, cleaner, dan developer sesuai standar ASTM E165. Untuk menjamin keabsahan data, dilakukan uji validitas instrumen melalui pengecekan kesesuaian prosedur dengan standar internasional AWS D1.1 dan ASME Section IX, serta uji reliabilitas dengan melakukan pengamatan berulang (test-retest) oleh dua inspektur bersertifikasi untuk meminimalisasi bias subjektivitas. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung di lapangan, dokumentasi visual (foto makro), dan

pencatatan hasil pengukuran dimensi cacat selama proses inspeksi berlangsung di Workshop Plant Fabrication PT. Antareja Mahada Makmur.

Prosedur penelitian diawali dengan preparasi permukaan las, dilanjutkan dengan pelaksanaan pengujian VT dan LPT secara berurutan, interpretasi indikasi cacat, serta pengukuran dan pencatatan data. Analisis data dilakukan secara kualitatif-deskriptif dengan membandingkan karakteristik cacat (bentuk, ukuran, lokasi) terhadap kriteria penerimaan (acceptance criteria) yang berlaku. Data kuantitatif dari pengukuran dimensi cacat dianalisis secara statistik deskriptif untuk menghitung frekuensi dan persentase ketidaksesuaian. Seluruh proses pengolahan dan penyajian data didukung dengan perangkat lunak Microsoft Excel untuk tabulasi dan perhitungan, sementara dokumentasi visual diolah menggunakan perangkat lunak pengedit gambar untuk keperluan ilustrasi dan pelaporan hasil. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis komparatif dengan membandingkan hasil pengujian terhadap standar acuan, serta analisis sebab-akibat (root cause analysis) untuk mengidentifikasi faktor teknis dan operasional yang memengaruhi munculnya cacat las.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan visual dapat dilihat bahwa didapatkan cacat yang berupa Undercut pada Leaning Rod pengelasan FCAW dengan arus 160-220 A, cacat Undercut merupakan cacat yang dapat terjadi pada sambungan las baik fillet, butt, lap, corner dan edge joint (Syukron & Baskoro, 2021).



Gambar 1. Hasil Pengamatan Visual Test

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel.1 Acceptable Criteria AWS D1.1 Tabel 6.1 Visual Inspection for Welds

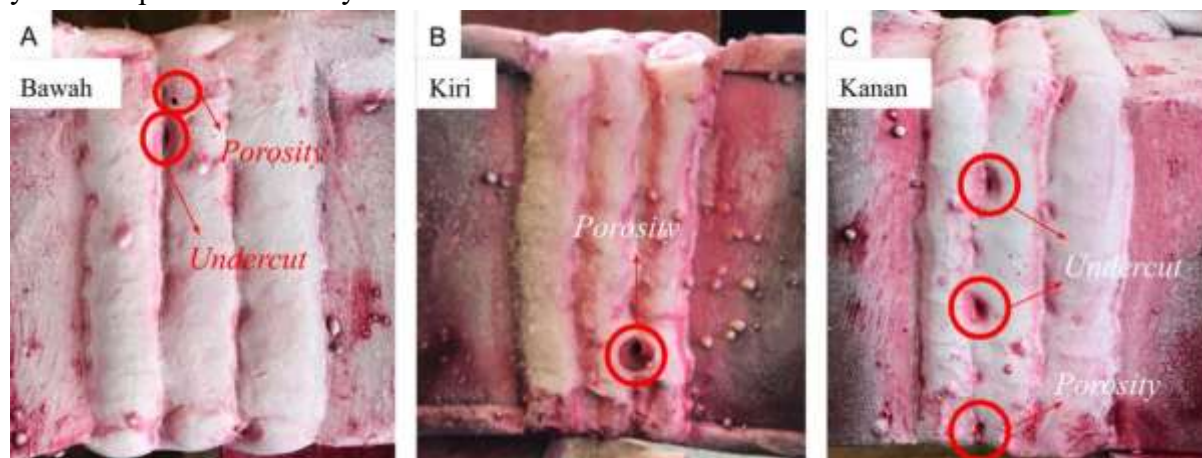
No	Indikasi Cacat	Interpretasi		Evaluasi		Status
		Kedalaman	Standar	Accept	Reject	
1	Undercut	1,45 mm	1 mm		√	Tidak Diterima

2	Undercut	2,05 mm	1 mm	√	Tidak Diterima
3	Undercut	3,30 mm	1 mm	√	Tidak Diterima

Sumber: Prosedur Evaluasi Cacat

Hasil pengujian Visual Test menunjukkan bahwa manik las pada sambungan leaning rod terbentuk tidak teratur, dengan kontur manik las cekung maupun cembung serta ditemukan lubang pada permukaan las. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan arus pengelasan yang terlalu tinggi sehingga laju pelelehan elektroda meningkat tanpa kendali, mengakibatkan bentuk bead tidak stabil dan berpotensi membentuk porosity (Society, 2005, 2017). Berdasarkan evaluasi menggunakan standar penerimaan AWS D1.1, seluruh indikasi cacat undercut pada tiga titik pemeriksaan dikategorikan reject karena kedalaman cacat melebihi batas toleransi 1 mm. Hal ini terjadi akibat kombinasi arus tinggi dan kecepatan pengelasan berlebih yang tidak memberi waktu cukup untuk pengisian logam las secara merata (Sowards, 2018). Untuk mencegah terjadinya cacat ini, parameter pengelasan seperti besar arus, kecepatan las, panjang busur, sudut elektroda, serta pemilihan elektroda harus disesuaikan dengan rekomendasi pada WPS, termasuk teknik pengayunan dan keterampilan operator las (Sikumbang et al., 2022).

Berdasarkan pengamatan dengan pengujian Liquid Penetrant test yang ditunjukkan pada gambar 2 dapat dilihat bahwa terdapat cacat yang ditunjukkan pada hasil pengelasan, yaitu berupa cacat Porosity dan Undercut.



Gambar 2. Hasil Pengujian Liquid Penetrant Test
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

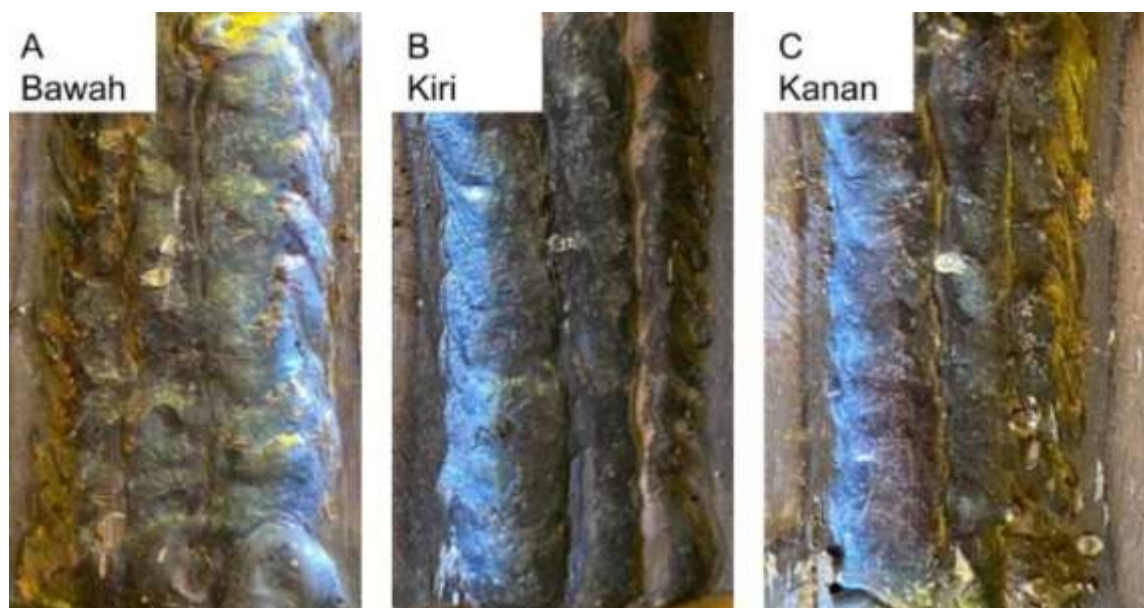
Tabel 2. Interpretasi Hasil Pengujian Liquid Penetrant Test
 ASM3 Section IX Article 1 QW 195

No	Interpretasi			Evaluasi		Keterangan
	Indikasi	Ukuran	Standar	Accept	Reject	
1	Linear	4,5 mm	1,5 mm		√	Undercut
2	Linear	3 mm	1,5 mm		√	Undercut
3	Linear	2,5 mm	1,5 mm		√	Undercut
4	Rounded	1,4 mm	5 mm	√		Porosity

5	Rounded	3,4 mm	5 mm	√	Porosity
6	Rounded	3,3 mm	5 mm	√	Porosity

Sumber: Prosedur Evaluasi Kualitas Perusahaan ABC, 2023

Interpretasi dan evaluasi hasil Liquid Penetrant Test dilakukan setelah indikasi cacat muncul pada permukaan sambungan las, di mana proses interpretasi bertujuan menentukan jenis cacat, penyebab, dan dampaknya terhadap kelayakan komponen. Tahap evaluasi mengacu pada ukuran indikasi sebagai dasar penentuan keberterimaan sambungan sesuai standar ASME Section IX Article 1 QW 195, di mana indikasi relevan yang muncul dibedakan menjadi linear dan rounded dengan batas klasifikasi ukuran lebih dari 1,5 mm (Yunianto & Wicaksana, 2023). Hasil evaluasi menunjukkan bahwa indikasi rounded pada komponen leaning rod dinyatakan accept karena ukurannya berada di bawah batas 5 mm, sedangkan indikasi linear dinyatakan reject karena ukurannya melebihi 1,5 mm, sehingga tidak memenuhi kriteria penerimaan ASME. Diskontinuitas linear yang terdeteksi berupa undercut, sedangkan indikasi rounded merupakan jenis porosity yang terjadi karena kontaminasi logam cair, penggunaan arus berlebih, atau panjang busur yang terlalu besar (Aljufri & Putra, 2018; Bakhori, 2021). Cacat porosity juga dipengaruhi oleh penyimpanan elektroda yang kurang tepat sehingga kandungan hidrogen meningkat, sedangkan undercut muncul akibat kesalahan operator, teknik kampuh yang tidak sesuai, kecepatan pengelasan tinggi, hingga instabilitas mesin (Mubarak & Machfuroh, 2024; Widyawati & Marano, 2021). Secara keseluruhan, hasil LPT menunjukkan bahwa cacat porosity dan undercut dapat menurunkan kekuatan sambungan las dan berpotensi menjadi titik awal kegagalan material sehingga repair welding harus dilakukan. Setelah proses perbaikan melalui penggerindaan dan pengelasan ulang diikuti dengan pemeriksaan visual ulang, tidak ditemukan lagi indikasi linear maupun rounded sehingga sambungan las pada leaning rod telah memenuhi acceptance criteria dan dinyatakan layak untuk dipasang kembali (Azwinur et al., 2022; Yunianto & Wicaksana, 2023; Y. M. Zhang et al., 2020).



Gambar 3. Hasil Repair pada Leaning Rod G5816

Sumber: Dokumentasi Penelitian Internal, 2023

KESIMPULAN

Metode Non-Destructive Test (NDT) yang diterapkan setelah proses pengelasan pada Leaning Rod Unit G5816, yaitu Visual Test dan Liquid Penetrant Test (LPT), terbukti mampu mendeteksi adanya cacat permukaan berupa porosity dan undercut pada hasil sambungan las. Berdasarkan hasil evaluasi, porosity yang ditemukan masih berada dalam batas penerimaan, namun undercut melebihi standar kelayakan sehingga hasil pengelasan belum sepenuhnya memenuhi acceptance criteria yang ditetapkan oleh standar AWS D1.1 dan ASME Section IX. Dengan demikian, sambungan las pada komponen Leaning Rod G5816 memerlukan tindakan perbaikan atau pengulangan pengelasan agar mutu sambungan dapat mencapai standar kualitas yang ditetapkan dan memastikan keamanan serta keandalan komponen saat digunakan kembali dalam operasi alat berat.

REFERENSI

- Aljufri, A., & Putra, R. (2018). Pengaruh porositas las terhadap kekuatan tarik pada material AISI 1050 yang menggunakan kampuh las V 90. *Prosiding Semnastek*.
- Arandelovic, M., Petrovic, A., Djordjevic, B., Sedmak, S., Sedmak, A., Dikic, S., & Radu, D. (2022). Effects of multiple defects on welded joint behaviour under the uniaxial tensile loading: FEM and experimental approach. *Sustainability*, 15(1), 761.
- Azwinur, A., Syukran, S., Akhyar, A., Tho, N. H., & Jaswir, J. (2022). Effect of welding repair on mechanical properties of ASTM A36 carbon steel weld joints. *Jurnal Polimesin*, 20(2), 217–221.
- Bakhori, A. (2021). Analisa cacat hasil pengelasan pada baja karbon rendah terhadap pengaruh masukan panas las. *Semnastek UISU*, 0–5.
- Deepak, J. R., Raja, V. B., Srikanth, D., Surendran, H., & Nickolas, M. M. (2021). Non-destructive testing (NDT) techniques for low carbon steel welded joints: A review and experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 44, 3732–3737.
- Engineers, A. S. of M. (2019). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IX*. American Society of Mechanical Engineers.
- Gholizadeh, S. (2016). Combining multiple NDT methods to improve testing effectiveness. *Construction and Building Materials*.
- Kou, S. (2016). Welding metallurgy and weldability of advanced high-strength steels. *Welding Journal*, 95(11), 287–295.
- Kumar, S., & Mahto, D. G. (2014). Recent trends in industrial and other engineering applications of non destructive testing: A review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(9).
- Morariu, F., Morariu, T., Barsan, A., Racz, S. G., & Dobrota, D. (2025). Evaluation of hardfacing layers applied by FCAW-S on S355MC steel and their influence on its mechanical properties. *Materials*, 18(15), 3664.
- Mubarok, M. Z., & Machfuroh, T. (2024). Pengendalian kualitas pengelasan baja SS400 untuk ducting pada PT. XYZ dengan metode SQC. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(4), 2178–2189.
- Sada, S. O. (2018). Minimization of undercut weld defect using the response surface

- methodology optimization process. *Nigerian Journal of Engineering*, 24(2), 43–52.
- Silva, C. C., Farias, J. P., & Afonso, C. R. M. (2021). Recent advances in non-destructive testing techniques for welded joints. *Journal of Materials Research and Technology*, 15, 4870–4882.
- Society, A. W. (2005). *Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding*. American Welding Society.
- Society, A. W. (2017). *AWS D1.6/D1.6M-2017: Structural Welding Code—Stainless Steel*. American Welding Society.
- Surya, D. H. (2024). *Pengaruh material baja dengan kadar karbon berbeda terhadap kekuatan sambungan fillet weld lap joint dengan pengelasan MIG*. Universitas Medan Area.
- Syukron, M., & Baskoro, B. W. (2021). Proses pengelasan flux core arc welding (FCAW) pada plat ABS grade A untuk konstruksi kapal harbour tug. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 105–109.
- Widyawati, F., & Marano, L. (2021). Identifikasi cacat lasan FCAW pada fondasi mesin kapal menggunakan metode ultrasonic testing. *Jurnal Tambora*, 5(2), 53–58.
- Yunianto, B., & Wicaksana, P. (2023). Analisis cacat hasil pengelasan pada pipa ASTM A106 Grade B menggunakan magnetic particle test dan liquid penetrant test. *ROTASI*, 25(2), 54–60.
- Zhang, X., Chen, H., & Wang, Y. (2018). Review on defect formation mechanism and control in arc welding processes. *Journal of Manufacturing Processes*, 31, 648–658.
- Zhang, Y. M., Yang, Y. P., Zhang, W., & Na, S. J. (2020). Advanced welding manufacturing: A brief analysis and review of challenges and solutions. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 142(11), 110816.