

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA

EXECUTIVE SUMMARY
Reg No: 01/SKRIPSI/TM/FTI/III-2026

Nama : Rahmat Ilahi

NPM : 2410017211115

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Perbandingan Kualitas Dan Efisiensi Pengelasan Build Up
Pada Pivot Menggunakan Proses GMAW Robotik Dan GMAW
Manual Berdasarkan Inspeksi Magnetik Partikel

Telah dikonsultasikan dan disetujui oleh pembimbing untuk diupload ke website.

Prof. Hendra Suherman, M.T., (Pembimbing)



**Perbandingan Kualitas dan Efisiensi Pengelasan Build Up Pada Pivot
Menggunakan Proses GMAW Robotik dan GMAW Manual Berdasarkan
Inspeksi Magnetik Partikel**

Perbandingan Kualitas dan Efisiensi Pengelasan Build Up Pada Pivot Menggunakan Proses GMAW Robotik dan GMAW Manual Berdasarkan Inspeksi Magnetik Partikel

Rahmat Ilahi¹

Universitas Bung Hatta, Padang
rahmaat.ilahi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas dan efisiensi pengelasan *build-up* pada *pivot large mining truck 797* menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) Robotik dan GMAW Manual. *Pivot* merupakan komponen kritis, sehingga kualitas pengelasannya sangat menentukan keamanan alat berat tersebut. Penelitian eksperimental ini menggunakan total 10 spesimen uji, yang terdiri dari 5 spesimen pengelasan GMAW Robotik dan 5 spesimen GMAW Manual. Setelah proses *machining*, evaluasi dilakukan menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI) guna mengidentifikasi cacat dan menghitung persentase keberhasilan atau *First Pass Yield* (FPY). Hasil inspeksi menunjukkan bahwa kualitas pengelasan GMAW Robotik jauh lebih unggul dengan rata-rata keberhasilan FPY mencapai 90,50%, sedangkan GMAW Manual hanya sebesar 51,57%. Dari segi efisiensi waktu, GMAW Robotik mampu menyelesaikan proses pengerjaan secara keseluruhan hanya dalam waktu ± 7 jam (1 *shift*) dengan tingkat perbaikan (*rework*) yang sangat minim. Sebaliknya, GMAW Manual memakan waktu lebih lama karena banyaknya temuan cacat pengelasan seperti *lack of fusion*, retakan, dan porositas. Kesimpulannya, proses GMAW Robotik sangat direkomendasikan untuk pengelasan *build-up pivot* karena menghasilkan kualitas yang lebih stabil, konsisten, minim cacat struktural, dan memiliki efisiensi tinggi.

Kata Kunci: Pengelasan *Build-up*, *Pivot*, GMAW Robotik, GMAW Manual, *Magnetic Particle Inspection* (MPI), Kualitas Pengelasan

ABSTRACT

This study aims to compare the quality and efficiency of build-up welding on the pivot of a 797 large mining truck using robotic Gas Metal Arc Welding (GMAW) and manual GMAW methods. The pivot is a critical component, so the quality of its welding greatly determines the safety of this heavy equipment. This experimental study used a total of 10 test specimens, consisting of 5 robotic GMAW welding specimens and 5 manual GMAW specimens. After the machining process, an evaluation was carried out using the Magnetic Particle Inspection (MPI) method to identify defects and calculate the success rate or First Pass Yield (FPY). The inspection results showed that the quality of robotic GMAW welding was far superior, with an average FPY success rate of 90.50%, while manual GMAW was only 51.57%. In terms of time efficiency, robotic GMAW was able to complete the entire process in only ± 7 hours (1 shift) with a very minimal rework rate. In contrast, Manual GMAW takes longer due to the large number of welding defects found, such as lack of fusion, cracks, and porosity. In conclusion,

the Robotic GMAW process is highly recommended for pivot build-up welding because it produces more stable, consistent quality, minimal structural defects, and high efficiency.

Keyword: Build-up welding, Pivot welding, Robotic GMAW, Manual GMAW, Magnetic Particle Inspection (MPI), Welding Quality

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan proses manufaktur krusial untuk menyambungkan material logam melalui aplikasi panas hingga mencapai kondisi leleh, yang membentuk ikatan metalurgi secara kuat dan homogen. Kualitas sambungan las sangat menentukan performa serta umur pakai komponen, sehingga berbagai parameter pengelasan harus dikendalikan secara tepat. Seiring dengan perkembangan teknologi, proses pengelasan terus mengalami inovasi, salah satunya adalah pengelasan otomatis berbasis robotik yang terbukti mampu meningkatkan presisi, kecepatan produksi, dan konsistensi kualitas sambungan dibandingkan dengan metode manual (Salman dan Saidah, 2024; T Dan Venkatesan, 2022).

Dalam industri alat berat, sistem *pivot* merupakan komponen yang sangat vital pada *large mining trucks* 797 karena berfungsi menahan beban berat dari kendaraan maupun muatan. Akurasi dimensi dan kualitas pengelasan *build-up* pada *pivot* sangat diutamakan untuk menghindari distorsi akibat tarikan *welding* yang dapat memicu risiko kecelakaan (Pengendalian et al., 2025). Untuk kebutuhan ini, pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) robotik sering dijadikan alternatif utama karena menawarkan tingkat akurasi dan efisiensi yang tinggi, minim percikan, serta hasil yang tangguh. Meskipun GMAW manual memiliki keunggulan fleksibilitas posisi, metode ini rentan terhadap busur yang tidak stabil akibat kurangnya keterampilan *welder*, sehingga efisiensi dan akurasinya lebih rendah (Davila-iniesta et al., 2025).

Untuk menjamin kualitas sambungan las tersebut, evaluasi dilakukan melalui metode *Non-Destructive Testing* (NDT). Uji visual (VT) umumnya menjadi tahap awal untuk mendeteksi cacat permukaan secara langsung, seperti *excess weld metal*, *lack of fusion*, atau *porosity* (Uktolseja dan Sugeng, 2017). Untuk pemeriksaan yang lebih mendalam pada material ferromagnetik, digunakan *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Metode MPI memanfaatkan medan magnet untuk mengidentifikasi diskontinuitas yang tidak kasat mata, baik berupa indikasi linier (seperti retakan) maupun bundar (seperti porositas atau inklusi), sehingga tingkat keparahan cacat dapat dinilai secara akurat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas dan efisiensi waktu pengerjaan *build-up* pada komponen *pivot large mining trucks* 797 antara pengelasan GMAW robotik dan GMAW manual. Batasan penelitian difokuskan pada pemenuhan kriteria bebas *defect* (porositas, *lack of fusion*, dan *excess weld metal*) yang dievaluasi langsung menggunakan hasil inspeksi *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diketahui seberapa besar perbedaan kualitas dan efisiensi waktu dari kedua metode pengelasan tersebut.

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan eksperimental komparatif yang bertujuan membandingkan kualitas pengelasan *build-up* pada komponen *pivot* menggunakan metode Gas Metal Arc Welding (GMAW) manual dan GMAW robotik. Pengelasan GMAW manual sangat bergantung pada keterampilan operator, sedangkan GMAW robotik menawarkan presisi dan konsistensi tinggi melalui sistem otomatis. Untuk mengevaluasi integritas struktural dan mengidentifikasi cacat permukaan pada sambungan las, penelitian ini menggunakan pengujian

Magnetic Particle Inspection (MPI). Hasil perbandingan data MPI dari kedua metode tersebut diharapkan dapat menjadi rujukan dalam memilih teknik pengelasan yang paling efektif, efisien, dan andal untuk komponen industri yang membutuhkan ketahanan mekanis tinggi.

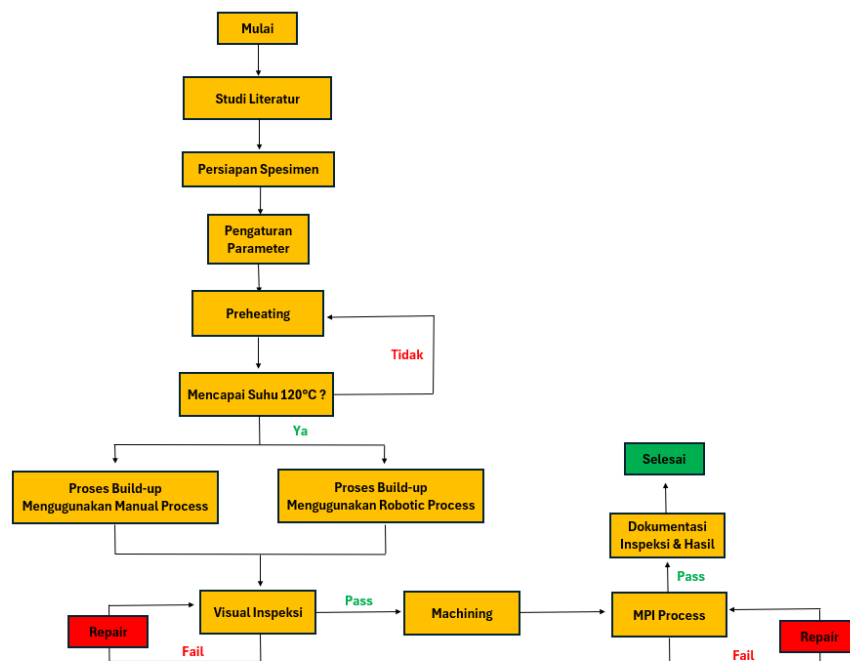
2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di perusahaan manufaktur alat berat PT. XYZ, berfokus pada pengelasan *build-up* dan inspeksi komponen *pivot* pada *Large Mining Truck* (LMT) 797. Waktu pelaksanaannya mengikuti jadwal produksi aktual perusahaan, yang mencakup tahap persiapan material, proses pengelasan (membandingkan metode GMAW manual dan robotik), hingga inspeksi kualitas menggunakan *Magnetic Particle Inspection* (MPI). Pengambilan data langsung di lapangan ini bertujuan agar hasil evaluasi representatif dan relevan dengan kondisi operasional industri yang nyata.

3. Objek Penelitian

Objek utama penelitian ini adalah komponen *pivot* pada truk tambang besar tipe 797, yang berfungsi vital sebagai titik tumpu penghubung antara sistem hidrolik dan rangka kendaraan. *Pivot* ini berbentuk silinder dengan diameter 151 mm, lebar 40 mm, dan luas area kritis pengelasan *build-up* sebesar 9457,61 mm². Material yang digunakan adalah baja berkekuatan tinggi S690QL, yang dipilih karena memiliki ketangguhan, kekuatan tarik, dan ketahanan deformasi yang unggul untuk menahan beban ekstrem selama alat berat beroperasi.

4. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

5. Prosedur Penelitian

- Pengumpulan Data Awal
Mengumpulkan informasi, referensi, dan standar teknis terkait agar proses sesuai dengan spesifikasi.
- Persiapan Spesimen
Menyiapkan, membersihkan, dan memastikan dimensi material awal sesuai standar.
- Pengaturan Parameter

- Menentukan parameter teknis pengelasan (seperti arus, tegangan, dan kecepatan kawat) untuk GMAW manual dan robotik guna menghasilkan *build-up* yang bebas cacat.
- d. Proses *Preheating*
Memanaskan spesimen secara bertahap hingga mencapai suhu target 120°C untuk mencegah distorsi, menghindari retakan (*crack*), dan menstabilkan struktur mikro.
 - e. Proses *Build-Up*
Melakukan pengelasan pada komponen *pivot* menggunakan metode GMAW manual yang dioperasikan *welder* dan GMAW robotik sesuai parameter yang telah ditetapkan.
 - f. Inspeksi Visual Internal
Memeriksa hasil pengelasan secara kasat mata sebelum *machining* untuk memastikan tidak ada cacat permukaan utama seperti porositas, *lack of fusion*, atau kelebihan logam las.
 - g. Proses *Machining*
Melakukan pemesinan (seperti bubut atau frais) untuk meratakan permukaan, membuang kelebihan material, dan mencapai dimensi akhir komponen *pivot* yang akurat dan presisi.
 - h. Inspeksi *Magnetic Particle* (MPI)
Melakukan pengujian NDT menggunakan medan magnet pasca-*machining* untuk mendeteksi retakan halus atau diskontinuitas di permukaan maupun sub-permukaan.
 - i. Pengambilan dan Analisa Data
Mengevaluasi 10 sampel (5 manual, 5 robotik) dengan mengukur area bebas cacat dari hasil inspeksi MPI. Data ini dianalisis untuk menghitung persentase keberhasilan (*First Pass Yield*/FPY) guna membandingkan kualitas dan efisiensi dari kedua metode pengelasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT)

Observasi visual merupakan langkah awal untuk mengevaluasi kualitas *build-up* pada *pivot* dengan mengidentifikasi lokasi, bentuk, dan jenis cacat (*defect*) secara makroskopis. Pengamatan ini membantu inspektor mengetahui kondisi permukaan, letak penyebaran cacat, serta pola mekanisme kegagalan yang terjadi. Didukung oleh dokumentasi objektif berupa foto atau sketsa teknis, tahapan ini menjadi acuan dasar untuk menentukan metode pengujian lanjutan yang lebih spesifik, seperti *non-destructive testing* (NDT) atau analisis mikrostruktur.

Pengujian *Non-Destructive Testing* (NDT) dalam penelitian ini menggunakan metode *Magnetic Particle Inspection* (MPI) untuk mendeteksi cacat pada material ferromagnetik secara komprehensif tanpa merusak komponen. Dengan memberikan medan magnet dan menaburkan partikel magnetik halus, metode bersensitivitas tinggi ini mampu mengidentifikasi retakan atau diskontinuitas secara akurat karena partikel akan terkumpul pada area yang cacat. Data dari inspeksi MPI ini kemudian digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan kualitas hasil pengelasan *build-up* pada komponen *pivot* (setelah proses *machining*) antara metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) manual dan GMAW robotik.

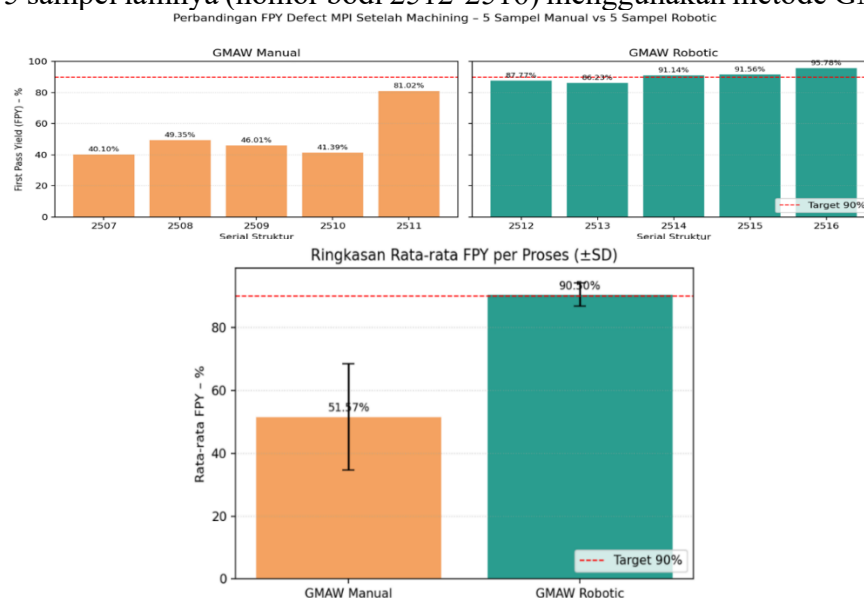


Gambar 2. Hasil Magnetik Partikel Inspeksi After Maching

Berdasarkan hasil inspeksi, pengelasan GMAW robotik terbukti jauh lebih unggul dengan rata-rata tingkat keberhasilan mencapai 90,50%, sedangkan GMAW manual hanya sebesar 51,57%. Rendahnya kualitas pada metode manual disebabkan oleh terbatasnya ruang gerak *welder*, yang membuatnya rentan menghasilkan cacat las (seperti *lack of fusion*, porositas, dan retakan) sehingga meningkatkan risiko kegagalan operasional pada *large mining truck* 797. Sebaliknya, metode GMAW robotik tidak hanya meminimalkan cacat las, tetapi juga jauh lebih efisien; seluruh proses pengerjaan *build-up* hingga *machining* dapat diselesaikan hanya dalam 1 *shift* (sekitar 7 jam) dengan tingkat perbaikan (*rework*) yang sangat minim.

2. Perbandingan Data Proses *Magnetic Particle Inspection*

Penelitian ini menggunakan metode analisis perbandingan data *Magnetic Particle Inspection* (MPI) pasca-*machining* pada 10 sampel komponen *pivot large mining trucks* 797. Pengujian ini membandingkan hasil pengelasan *build-up* dari dua metode yang berbeda, yaitu 5 sampel (nomor bodi 2507-2511) menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) manual, dan 5 sampel lainnya (nomor bodi 2512-2516) menggunakan metode GMAW robotik.



Gambar 3. Perbandingan MPI Defect Manual Proses & Robotik Proses

Hasil analisis *First Pass Yield* (FPY) terhadap cacat las menunjukkan perbedaan kualitas yang sangat signifikan. Pengelasan GMAW manual hanya menghasilkan rata-rata FPY sebesar 51,57% (jauh di bawah target PT XYZ sebesar 90%) dengan variabilitas tinggi, di mana 4 dari 5 sampel gagal mencapai target. Sebaliknya, pengelasan GMAW robotik terbukti sangat stabil

dan konsisten dengan rata-rata FPY mencapai 90,70%, di mana 4 dari 5 sampel berhasil memenuhi atau bahkan melebihi target kelulusan perusahaan.

3. Performa Dan Stabilitas Rata Rata Robotik

Pengelasan GMAW robotik menunjukkan performa yang jauh lebih unggul dan stabil dengan rata-rata *First Pass Yield* (FPY) mencapai 90,5% (standar deviasi 3,7%). Konsistensi ini dicapai berkat kontrol parameter proses yang sangat presisi, sehingga seluruh sampel robotik stabil di rentang 86–96% dan mendekati target. Sebaliknya, pengelasan GMAW manual menghasilkan rata-rata FPY yang jauh lebih rendah (51,6%) dan sangat fluktuatif (standar deviasi 16,9%). Sebagian besar sampel manual hanya berada di rentang 40–50%, yang mengindikasikan adanya ketidakseragaman dalam penerapan *Welding Procedure Specification* (WPS) di lapangan.

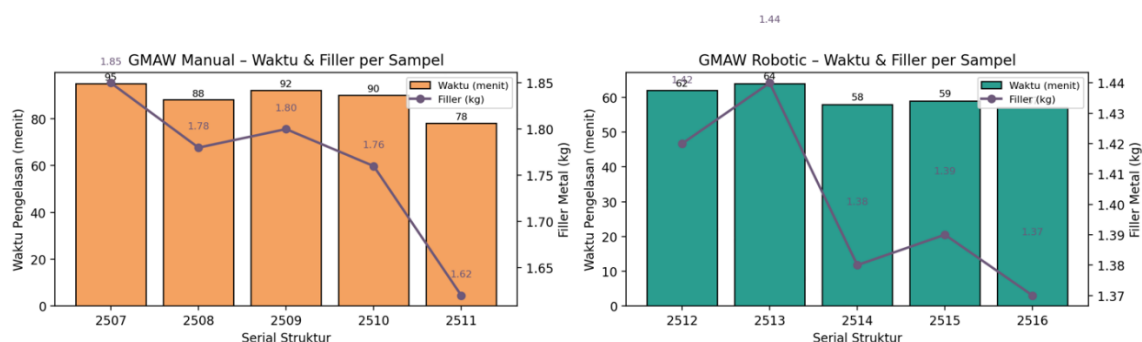
Fluktuasi kualitas pada pengelasan manual sangat dipengaruhi oleh variasi keterampilan operator dalam mengontrol *heat input*, kecepatan gerak, hingga pembersihan. Akibatnya, metode ini rentan memicu cacat las seperti porositas, *lack of fusion*, *undercut*, dan retakan. Mengingat proses *machining* dapat membuka dan memperjelas cacat sub-permukaan yang terdeteksi lewat *Magnetic Particle Inspection* (MPI), pencapaian FPY pasca-*machining* menjadi bukti kuat efektivitas pengelasan. Tingginya nilai FPY metode robotik membuktikan repetabilitas yang sangat baik, sementara metode manual jelas memerlukan penataan ulang praktik operasional untuk menekan angka cacat las.

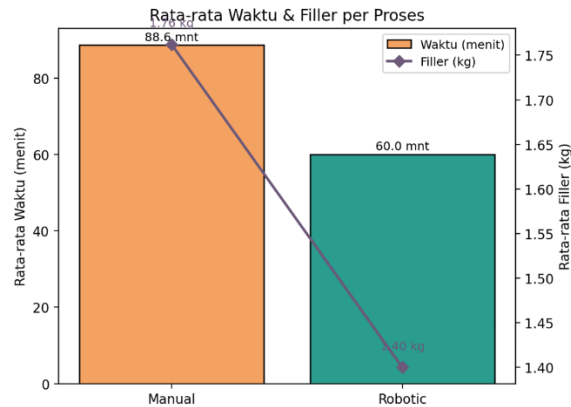
4. Perbandingan Data Efisiensi Waktu Pengelasan Dan Filler Metal

Grafik gabungan menunjukkan bahwa, berdasarkan data pada gambar 4.6 , proses GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) robotik unggul atas (*Gas Metal Arc Welding*) manual baik dari sisi durasi maupun konsumsi material rata-rata waktu pengelasan, manual 88,6 menit sedangkan robotik 60,0 menit (hemat 28,6 menit/unit atau $\approx 32,3\%$), sementara *filler* metal manual 1,762 kilogram sedangkan robotik 1,400 kilogram (hemat 0,362 kilogram/unit atau $\approx 20,5\%$)

Konsistensi proses juga lebih baik pada robotik, tercermin dari deviasi standar waktu 2,92 menit dan *filler* 0,029 kilogram, dibanding manual yang 6,47 menit dan 0,086 kilogram pola garis *filler* mengikuti batang waktu pada kedua panel (korelasi positif kuat: $\approx +0,98^{**}$ manual dan $\approx +1,00^{**}$ robotik), yang menandakan semakin lama arc-on time umumnya semakin besar deposisi *wire*, namun robotik menjaga hubungan ini jauh lebih linear dan rapat secara operasional ,hal ini berarti *cycle time* lebih pendek dan stabil, pemakaian *wire* lebih efisien, serta peluang *rework* lebih kecil selaras dengan temuan FPY (*First Pass Yield*) sebelumnya sehingga robotik memberi dampak langsung pada produktivitas dan biaya (tenaga per menit dan *wire* per kilogram) yang lebih rendah per unit.

Grafik Gabungan: Waktu & Filler Metal – Manual vs Robotic (per Sampel)





Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Waktu Build Up Dan Filler Metal Pada Manual Proses & Robotik Proses

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *Magnetic Particle Inspection* (MPI) pada 10 sampel komponen, kualitas pengelasan *build-up* menggunakan metode *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) robotik terbukti jauh lebih unggul dan konsisten dibandingkan GMAW manual. GMAW robotik mencatatkan rata-rata tingkat keberhasilan (*First Pass Yield/FPY*) sebesar 90,50% dengan temuan cacat yang sangat minim, bahkan beberapa sampel mendekati kondisi bebas cacat (*defect-free*). Sebaliknya, GMAW manual hanya mencapai rata-rata FPY 51,57% dengan variabilitas tinggi dan sebaran cacat yang panjang di hampir seluruh area sambungan, seperti *lack of fusion*, porositas, hingga retakan. Perbedaan mencolok ini terjadi karena GMAW manual sangat bergantung pada keterampilan *welder* dan terhambat oleh keterbatasan akses pada area *pivot*, sedangkan sistem robotik mampu mengontrol seluruh parameter pengelasan secara presisi.

Dari segi efisiensi waktu pengerjaan, metode GMAW robotik juga menunjukkan performa yang jauh lebih efektif. Seluruh proses *build-up* hingga tahapan *machining* dapat diselesaikan hanya dalam waktu satu *shift* (sekitar 7 jam). Tingginya efisiensi ini dicapai karena pergerakan robot yang stabil mampu meminimalkan percikan logam dan menghasilkan bentuk las yang seragam, sehingga kebutuhan waktu untuk perbaikan (*rework*) berkurang secara drastis. Di sisi lain, metode GMAW manual memakan waktu yang jauh lebih lama karena tingginya frekuensi cacat berulang yang mewajibkan proses *rework*. Hal ini tidak hanya memicu keterlambatan pada proses *machining*, tetapi juga menambah beban jam kerja dan meningkatkan risiko *downtime* produksi.

Mengingat *pivot* pada *large mining truck 797* merupakan komponen kritis yang selalu menerima tegangan tinggi (*high-stress*), kualitas *build-up* sangat menentukan keselamatan dan keandalan alat berat tersebut. Oleh karena itu, pengelasan GMAW robotik menjadi metode yang paling direkomendasikan karena terbukti memberikan kualitas struktural dan metalurgi yang tinggi, konsisten, serta efisien secara waktu. Sebaliknya, metode GMAW manual dinilai tidak cocok diterapkan pada area kritis ini karena risiko cacatnya yang tinggi berpotensi fatal, mulai dari menyebabkan kebocoran fluida hidrolik hingga memicu kegagalan fungsi komponen *pivot* secara keseluruhan saat beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, N. P., Wibowo, A., Rossbandrio, W., Widiastuti, H., dan 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>
- Arrozi, W., Widyianto, A., Guntur Sampurno, Y., Widowati, A., dan Aminatun, T. (2025). *Desain Dan Analisis Teleskopik Silinder Hidrolik Pada Mesin Pres Hidrolik Mobile*. 7(2), 66–81.
- Davila-iniesta, E. M., López-islas, J. A., dan Villuendas-rey, Y. (2025). *Automatic Segmentation of Gas Metal Arc Welding for Cleaner Productions*. 1–19.
- Hartono, B., Waluyo, R., Fitriani, F., dan Muhammad, B. (2024). Analisa Kebocoran Hydraulic Cylinder Telescopic Pada Alat Angkut Mekanisasi Kelapa Sawit Tipe High Bin Kapasitas 500 Kilogram. *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(1), 34–38. <https://doi.org/10.32832/ame.v10i1.663>
- Pengendalian, A., Produk, K., Plate, P., Assembly, P., Pt, D. I., & Manufaktur, S. (2025). *Jurnal Comasie*. 01.
- Salman, N. J., dan Saidah, A. (2024). *Peran Strategis Shielded Metal Arc Welding dalam Proses Manufaktur Modern : Tinjauan Literatur Terkini*. 9(2), 7–17.
- T, N. N., dan Venkatesan, K. (2022). *A Literature Review on Gas Metal Arc Welding (GMAW)*. 9(7), 370–375.
- Uktolseja, K. A., dan Sugeng, M. (2017). Analisis Kerusakan Sambungan Lasan Pada Sistem Venting Pre Air Cooler Di Lingkungan Eksplorasi Dan Produksi Gas Alam. *Bina Teknika*, 13(1), 81. <https://doi.org/10.54378/bt.v13i1.62>