

Comparative Analysis of the Use of Metal Inert Gas (MIG) and Shielded Metal Arc Welding (SMAW) at PT PG Candi Baru Sidoarjo

Analisa Perbandingan Penggunaan Las Metal Inert Gas (MIG) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) di PT. PG Candi Baru Sidoarjo

Slamet Fauji Riyanto¹⁾, Jamaaluddin,*²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: ²⁾jamaaluddin@umsida.ac.id

Abstract. *Welding is a crucial process in the industrial sector, especially in metal fabrication where strong and durable joints are required. This study aims to compare two widely used welding methods Metal Inert Gas (MIG) welding and Shielded Metal Arc Welding (SMAW) based on their application at PT. PG Candi Baru Sidoarjo. The research focuses on several key aspects: weld quality, time efficiency, operational convenience, equipment, cost, and safety. Using an experimental method, observations and measurements were conducted on low carbon steel specimens welded with both techniques. The results indicate that MIG welding produces cleaner welds with faster execution time, making it suitable for mass production and indoor environments. On the other hand, SMAW is more versatile in various field conditions, requires less expensive equipment, and is more adaptable for outdoor applications. These findings suggest that the choice between MIG and SMAW should be based on specific production requirements, cost considerations, and operational context. The study provides practical insights for improving welding practices in the manufacturing industry.*

Keywords - MIG welding, SMAW, welding process, efficiency, welding joint quality, productivity, PT. PG Candi Baru Sidoarjo.

Abstrak. *Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dalam proses fabrikasi di PT. PG Candi Baru Sidoarjo. Material yang digunakan adalah baja karbon rendah, dengan pengujian dilakukan melalui inspeksi visual, pengukuran dimensi, kecepatan pengelasan, serta kemudahan operasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa las MIG menghasilkan jalur las yang lebih bersih dan konsisten, dengan rata-rata waktu pengelasan sekitar 4 menit per sambungan serta percikan minimal. Sementara itu, las SMAW memerlukan waktu sekitar 6,5 menit per sambungan dan membutuhkan proses pembersihan tambahan karena terbentuknya terak. Dari segi biaya, SMAW lebih ekonomis dalam hal investasi peralatan, namun kurang efisien dalam penggunaan waktu kerja. Selain itu, pengelasan MIG menunjukkan penetrasi yang lebih baik dan permukaan yang lebih halus, sedangkan SMAW unggul dalam fleksibilitas penggunaan di lapangan atau area luar ruangan. Hasil ini menunjukkan bahwa las MIG lebih sesuai untuk produksi skala besar yang membutuhkan presisi tinggi, sedangkan las SMAW cocok untuk pekerjaan lapangan dan proyek dengan keterbatasan anggaran.*

Kata Kunci - Las MIG, las SMAW, proses pengelasan, efisiensi, kualitas sambungan las, produktivitas, PT. PG Candi Baru Sidoarjo.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan yang tidak dapat ditinggalkan dalam kehidupan sehari-hari maupun dunia bisnis dan industri. Dalam sektor industri, listrik digunakan dalam berbagai hal salah satunya adalah pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam yang sangat penting dalam dunia industri modern. Proses ini dilakukan dengan cara melelehkan sebagian material dasar dan logam pengisi untuk menghasilkan sambungan permanen yang kuat dan tahan terhadap beban mekanis maupun lingkungan ekstrem. Seiring berkembangnya teknologi manufaktur dan kebutuhan industri yang semakin kompleks, teknik pengelasan mengalami kemajuan pesat baik dari sisi metode, material, maupun peralatan yang digunakan. Dalam sektor industri pengelasan menjadi bagian integral dari proses produksi. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya dalam menghasilkan sambungan logam yang efisien, cepat, dan ekonomis jika dibandingkan dengan metode penyambungan lainnya seperti paku, baut, atau perekat mekanik. Selain itu, pengelasan juga memungkinkan fleksibilitas desain dan efisiensi material, yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk.

1 Metal Inert Gas (MIG)

Las MIG (Metal Inert Gas) adalah salah satu proses pengelasan listrik yang menggunakan kawat elektroda yang mencair secara terus menerus serta gas pelindung inert (seperti argon) untuk melindungi daerah las dari kontaminasi udara. Proses ini banyak digunakan karena kecepatannya tinggi, hasil las yang bersih, dan mudah dioperasikan secara otomatis maupun manual. Las MIG biasanya banyak digunakan untuk pengelasan baja-baja yang memiliki kualitas yang baik, seperti baja yang memiliki daya tahan karat yang sangat tinggi, maupun baja-baja yang sangat kuat ataupun logam-logam yang tidak bisa dilas menggunakan teknik las manapun selain las MIG.

Las MIG juga sering digunakan secara otomatis maupun secara semi-otomatis yang memiliki arus searah polaritas balik yang menggunakan kawat elektroda berdiameter antara 1,2mm sampai 2,4 mm. Karena perkembangan teknologi semakin canggih belakangan ini banyak menggunakan kawat elektroda yang memiliki diameter 3,2mm sampai 6,4mm yang digunakan untuk pengelasan aluminium yang sangat tebal, contohnya tangki penyimpanan gas alam cair. Las MIG ini juga digunakan yang memiliki kecepatan kawat elektroda yang tetap dengan cara pengumpanan tarik dorong.

a. Prinsip Kerja Las MIG

Dalam proses las MIG, kawat elektroda digerakkan secara otomatis melalui nozzle dan dialiri arus listrik. Arus listrik menciptakan busur listrik (arc) antara ujung kawat dan permukaan benda kerja, yang kemudian melelehkan kawat dan logam dasar untuk membentuk sambungan. Gas pelindung ditiupkan melalui nozzle untuk mencegah reaksi oksidasi dari udara sekitar, sehingga hasil las lebih kuat dan tidak berpori.

b. Komponen Utama Las Metal Inert Gas (MIG)

Komponen Utama Las MIG adalah peralatan yang berhubungan langsung dengan proses pengelasan tersebut, yang terdiri dari[1]:

- 1) Mesin Trafo
Mesin trafo merupakan sistem pembangkit tenaga pada mesin las MIG. Sistem ini dapat berupa mesin las dengan arus bolak-balik (Alternating Current/AC) atau arus searah (Direct Current/DC) yang berfungsi sebagai sumber daya utama dalam proses pengelasan.
- 2) Wire Feeder
Wire feeder berfungsi sebagai alat pengontrol kawat elektroda yang digunakan dalam proses pengelasan. Umumnya, alat ini tidak tergabung langsung dengan mesin las, melainkan diletakkan berdekatan dengan area pengelasan agar memudahkan pengaturan dan pengumpanan kawat las secara otomatis.
- 3) Welding Gun
Welding gun atau torch adalah alat utama yang digunakan untuk mengarahkan dan menghantarkan arus listrik ke area kerja. Alat ini bertugas mengeluarkan kawat las sekaligus menjadi saluran keluarnya gas pelindung dan percikan api yang terjadi saat proses pengelasan.
- 4) Regulator
Regulator berfungsi mengatur tekanan dan aliran gas pelindung (biasanya gas inert seperti Argon atau campurannya). Selain itu, regulator juga berperan sebagai pelindung agar penggunaan gas lebih efisien dan aman dalam durasi pengelasan yang lama.
- 5) Kabel Las atau Saklar Kontrol
Pada mesin las terdapat kabel primer dan kabel sekunder atau kabel las. Kabel primer kabel yang menghubungkan sumber tenaga dengan mesin las, Kabel sekunder adalah kabel-kabel yang dipakai untuk keperluan mengelas yang terdiri dari kabel yang dihubungkan dengan gun serta lainnya.

c. Kelebihan dan Kekurangan Las MIG

Kelebihan pada las MIG adalah cepat dan efisien, hasil las lebih rapi, mudah dipelajari, bisa untuk berbagai posisi, bisa mengelas berbagai logam, dan produksi berkelanjutan dengan kawat elektroda kontinu, pengelasan bisa berjalan terus tanpa harus mengganti elektroda secara berkala. Sedangkan

kekurangannya adalah butuh gas pelindung, biaya peralatan mahal, kurang cocok untuk outdoor, perawatan lebih rumit, dan tebal material terbatas.

2 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau las busur listrik manual adalah metode pengelasan yang menggunakan busur listrik antara elektroda terbungkus fluks dengan logam induk. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik sekaligus sebagai logam pengisi. Selama proses pengelasan, fluks pada elektroda akan terbakar, menghasilkan gas pelindung dan membentuk terak yang menutupi logam cair agar tidak terkontaminasi udara luar[2].

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las. Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar. Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.

a. Prinsip Kerja Las SMAW

Ketika elektroda menyentuh benda kerja dan kemudian ditarik sedikit, terbentuk busur listrik yang menghasilkan panas tinggi ($\pm 3500^{\circ}\text{C}$) sehingga melelehkan ujung elektroda dan permukaan logam induk. Lapisan fluks terbakar menghasilkan gas pelindung dan membentuk terak di atas logam cair. Setelah dingin, sambungan logam terbentuk, dan terak dibersihkan[3].

b. Komponen Utama Las SMAW

Beberapa komponen utama dalam proses las SMAW antara lain :

- 1) Mesin Las
Berfungsi untuk menghasilkan arus listrik, baik arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC), yang diperlukan dalam proses pengelasan. Elektroda Batang logam terbungkus fluks yang menjadi logam pengisi.
- 2) Elektroda
Merupakan batang logam yang dilapisi fluks, berfungsi sebagai logam pengisi yang mencair dan menyatu dengan logam dasar saat proses pengelasan berlangsung.
- 3) Kabel Las
Berfungsi untuk menghubungkan mesin las dengan elektroda dan benda kerja, guna mengalirkan arus listrik selama proses pengelasan.
- 4) Tang Elektroda (Holder)
Alat penjepit elektroda yang memudahkan pengelasan dan memastikan elektroda tetap terhubung dengan arus listrik.
- 5) Pelindung Diri
Meliputi helm las, sarung tangan tahan panas, apron, dan sepatu keselamatan yang digunakan untuk melindungi pengelasan dari bahaya panas, percikan logam cair, dan cahaya ultraviolet. (Prayogo, 2019).

c. Kelebihan dan Kekurangan Las SMAW

Kelebihan pada las SMAW adalah peralatan sederhana dan murah, fleksibel dan mudah dipindah, dapat digunakan berbagai posisi las, tidak memerlukan gas pelindung eksternal, dan cocok untuk berbagai jenis logam. Sedangkan kekurangan pada las SMAW adalah produktivitas lebih rendah, banyak terak yang harus dibersihkan, memerlukan ketrampilan tinggi, cacat las lebih mudah terjadi, dan tidak efisien untuk material tipis.

3 Pengelasan

Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Menurut Deutsche Industry Normen (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Las dalam kerja diklasifikasikan menjadi 3 yaitu : Pengelasan Cair (las gas, las listrik termitis, las listrik terak, las listrik elektron, las listrik gas, las listrik plasma), Pengelasan Plasma (las resistensi listrik, las tekan gas, las titik, las tempa, las penampang, las gesek, las busur tekan, las ledakan, las tekan, las induksi, las tumpul tekan, las ultrasonik), dan pematiran[4].

Pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur paling penting dalam industri teknik mesin dan konstruksi logam. Teknologi ini digunakan untuk menyatukan dua atau lebih bagian logam dengan menghasilkan sambungan yang kuat, permanen, dan tahan terhadap beban mekanis. Dalam konteks industri modern, kualitas hasil las tidak hanya bergantung pada kekuatan sambungan, tetapi juga pada aspek efisiensi waktu, biaya produksi, keselamatan kerja, serta kemampuan untuk diintegrasikan dalam lini produksi massal. Oleh karena itu, pemilihan metode pengelasan yang tepat menjadi krusial untuk menjamin keberhasilan operasional dan produktivitas industri. Dua metode pengelasan yang paling umum digunakan dalam praktik industri adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dan Metal Inert Gas Welding (MIG). Metode SMAW atau las busur listrik manual dikenal luas karena kesederhanaannya, biaya peralatan yang relatif rendah, dan fleksibilitas penggunaannya di berbagai kondisi lingkungan, termasuk di area luar ruangan. Sebaliknya, pengelasan MIG dikenal dengan kecepatan kerja yang tinggi, hasil yang bersih, dan konsistensi manik las yang baik, serta lebih cocok digunakan di lingkungan kerja yang terkendali seperti pabrik atau bengkel produksi dalam ruangan.

Kualitas hasil pengelasan sangat bergantung pada berbagai faktor, seperti jenis logam, teknik pengelasan yang digunakan, parameter proses, serta keterampilan operator. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan pengembangan dalam bidang pengelasan terus dilakukan untuk mengoptimalkan hasil sambungan, memperpanjang umur struktur, serta meningkatkan keselamatan dan efisiensi produksi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan hasil kerja, efektivitas waktu serta kemudahan penggunaan antara Las MIG (Metal Inert Gas) dan Las Listrik (SMAW/Stick Welding). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas proses pengelasan, khususnya pada penerapan di industri PT. PG Candi Baru.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh M. Piere Sam Paskel et al pada tahun 2024 yang berjudul “Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Material Hasil Pengelasan Drill Pipe Baja dengan Menggunakan Metode Pengelasan SMAW dan MIG dengan Arus 140 A “ menggunakan metode pengujian tarik. Dari hasil penelitian pengujian kekuatan tarik dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan nilai tegangan ultimate (tu) N/mm² pada setiap jenis pengelasan pada material Drill Pipe. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini nilai tegangan ultimatenya pengelasan dengan metode SMAW, dengan nilai tegangan ultimate (tu) terbesar adalah 681,25 N/mm² dan selanjutnya diikuti oleh metode pengelasan MIG dengan nilai tegangan ultimate (tu) terbesarnya adalah 658,04 N/mm², selanjutnya yang paling rendah Tegangan Ultimate (tu) pada pengelasan SMAW adalah 570,89 N/mm², dan pada pengelasan MIG nilai Tegangan Ultimate (tu) adalah 543,68 N/mm²[5].

Penelitian terdahulu selanjutnya yang telah dilakukan oleh Muhammad Shiddiq et al pada tahun 2022 yang berjudul “Analisa Perbandingan Hasil Pengelasan Las Smaw Dengan Las Mig Pada Posisi 3G Dengan Material Jis G3101 SS400 “ metode penelitian ini menggunakan material JIS G3101 SS400. Penelitian ini menggunakan jenis metode eksperimen yang dimulai dengan pembuatan kampuh V pada spesimen, melakukan pengelasan spesimen, dengan membuat bentuk spesimen yang sesuai dengan standar ASTM E190. Untuk pengambilan data sebanyak 10

spesimen dimana, 5 pengelasan las SMAW dan 5 spesimen pengelasan las MIG. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini nilai rata-rata pengelasan SMAW awal terjadinya retakan 2 mm pada sudut $160,8^\circ$ dengan beban sebesar 8,3 KN. Pada spesimen las MIG nilai rata-rata awal terjadi retakan 2,4 mm pada sudut $176,2^\circ$ dengan beban sebesar 1,82 KN. Hasil perbandingan kekuatan pengelasan pada material JIS G3101 SS400 dengan jenis pengelasan SMAW lebih tinggi dari hasil pengelasan las MIG[6].

Analisa dari kedua penelitian tersebut terdapat persamaan dan perbedaan yang telah dilakukan, yaitu antara lain Persamaan prinsip kerja masih menggunakan Las Mig dan Las SMAW. Perbedaannya dua penelitian terdahulu sama-sama melakukan pengujian terhadap kekuatan pengelasan dengan metode uji tarik sedangkan pada penelitian yang sekarang mengoptimalkan hasil sambungan, memperpanjang umur struktur, serta meningkatkan keselamatan dan efisiensi produksi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan hasil kerja, efektivitas waktu serta kemudahan penggunaan antara Las MIG (Metal Inert Gas) dan Las Listrik (SMAW/Stick Welding). Kesimpulan dari dua penelitian terdahulu masih ada kekurangan dan kelebihan, maka penulis akan lebih spesifik membahas efisiensi maupun efektifitas agar memperoleh hasil yang lebih kompleks dan bisa menjadi bahan pertimbangan penggunaan Las pada PT. PG Gula Candi Baru.

Secara umum pengelasan adalah proses penyambungan dua atau lebih bagian logam (atau material lainnya) dengan cara melelehkan sebagian material dasar dan/atau bahan tambah, sehingga terbentuk ikatan yang kuat setelah logam tersebut membeku. Secara teknis Las (welding) merupakan proses manufaktur atau fabrikasi yang digunakan untuk menyatukan material, biasanya logam atau termoplastik, dengan menggunakan panas tinggi untuk melelehkan bagian yang akan disambung, kemudian didinginkan hingga membentuk sambungan yang kokoh. Proses ini dapat dilakukan dengan atau tanpa tekanan dan logam pengisi. Sedangkan menurut DIN (Deutch Industrie Normen) Las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Ada 3 macam pengelasan berdasarkan cara kerjanya, yaitu jenis pengelasan tekan, pengelasan cair dan juga pematrian. Pengelasan merupakan proses penyambungan dua atau lebih logam dengan cara melelehkan logam induk dan logam pengisi, lalu didinginkan hingga membentuk sambungan yang kuat. Proses ini memanfaatkan energi panas dari busur listrik, gas, atau energi mekanik untuk mencairkan logam yang akan disambung[7].

Penelitian ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan seperti bagaimana hasil kerja pengelasan serta perbandingan menggunakan Las MIG (Metal Inert Gas) dan Las Listrik (SMAW/Stick Welding), serta bagaimana kemudahan pengelasan serta perbandingan menggunakan Las MIG (Metal Inert Gas) dan Las Listrik (SMAW/Stick Welding). Penelitian ini akan dibatasi dengan beberapa hal yakni Jenis Pengelasan yang Dianalisis Penelitian ini hanya membahas dua jenis proses pengelasan, yaitu Las MIG (Metal Inert Gas) dan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding/Las Listrik), material yang digunakan dalam proses pengelasan dibatasi pada baja karbon rendah (mild steel) dengan ketebalan tertentu yang disesuaikan dengan kemampuan kedua jenis las, variabel yang dibandingkan hanya difokuskan pada beberapa aspek berikut proses pengelasan (kemudahan, kecepatan, dan efisiensi), kualitas hasil las (penetrasi, kekuatan, dan cacat las), peralatan dan kelengkapan yang digunakan, biaya operasional pengelasan, faktor keselamatan dan keselamatan kerja, pengujian hasil las dibatasi pada pengujian visual dan perhitungan berdasarkan data yang didapatkan, studi kasus atau pengambilan data dilakukan di lingkungan PT. PG Gula Candi Baru sebagai representasi lingkungan industri manufaktur ringan dan terakhir adalah data dikumpulkan melalui observasi langsung, dokumentasi, serta uji coba praktis pada kedua jenis proses pengelasan.

Namun, dalam praktiknya, pemilihan antara kedua metode ini sering kali tidak didasarkan pada evaluasi teknis yang sistematis. Banyak keputusan dilakukan berdasarkan kebiasaan kerja atau keterbatasan alat, bukan pada analisis kuantitatif terhadap kinerja masing-masing metode. Padahal, setiap metode memiliki karakteristik yang sangat berbeda dari segi hasil akhir, kecepatan, risiko cacat, dan kenyamanan operator. Oleh karena itu, penting dilakukan studi komparatif yang tidak hanya melihat kekuatan mekanis hasil las, tetapi juga mencakup aspek visual, ergonomi kerja, efisiensi waktu, dan biaya operasional.

Studi ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan antara metode pengelasan MIG dan SMAW dengan pendekatan langsung di lapangan. Penelitian dilakukan di PT. PG Candi Baru Sidoarjo, yang merupakan salah satu unit industri manufaktur berbasis logam dengan kebutuhan pengelasan yang tinggi. Penelitian mencakup proses pengelasan baja karbon rendah dengan ketebalan 6 mm, yaitu jenis material yang umum digunakan dalam konstruksi ringan dan alat berat. Fokus utama penelitian ini mencakup lima aspek penilaian utama: kualitas hasil las, waktu pengerjaan, kemudahan penggunaan, biaya operasional, dan keamanan kerja. Melalui dokumentasi lapangan,

observasi langsung, dan analisis hasil visual serta kuantitatif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode. Hasil studi ini juga dapat menjadi referensi praktis bagi pelaku industri maupun akademisi dalam menentukan strategi pemilihan teknik pengelasan yang tepat berdasarkan kebutuhan teknis dan konteks kerja tertentu.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen komparatif yang bertujuan untuk menganalisis perbedaan performa antara dua metode pengelasan, yaitu Metal Inert Gas (MIG) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Penelitian dilaksanakan di lingkungan bengkel kerja PT. PG Candi Baru Sidoarjo pada bulan April 2025. Objek yang digunakan berupa baja karbon rendah (mild steel) dengan ketebalan 6 mm, yang merupakan jenis material yang umum digunakan dalam fabrikasi peralatan logam, struktur ringan, dan rangka mesin. Penelitian ini dirancang untuk memberikan pemahaman praktis dan teknis mengenai keunggulan serta kekurangan masing-masing metode pengelasan dalam konteks kerja industri. Prosedur penelitian diawali dengan persiapan material dan peralatan. Baja karbon rendah dipotong dengan ukuran dan bentuk yang seragam untuk memastikan bahwa setiap perlakuan pengelasan dilakukan pada spesimen yang identik. Proses pengelasan dilakukan pada posisi datar (flat position/PA/1G), yaitu posisi dasar dalam pengelasan yang memberikan tingkat kestabilan tertinggi dalam pengendalian manik las. Setiap metode digunakan untuk membuat lima sambungan uji dengan panjang dan konfigurasi yang sama. Tujuannya adalah untuk menjamin reliabilitas hasil serta memungkinkan perbandingan langsung antara dua metode berdasarkan indikator-indikator yang diamati.

Peralatan yang digunakan dalam metode MIG meliputi mesin las MIG semi-otomatis, tabung gas pelindung dengan campuran argon dan karbon dioksida (CO_2), kawat las berdiameter 0,8 mm, wire feeder, regulator tekanan, dan torch. Sementara itu, metode SMAW menggunakan mesin las busur listrik arus searah (DC), elektroda tipe E6013 berdiameter 2,6 mm, tang elektroda, kabel massa, serta alat bantu pembersih seperti palu slag dan sikat baja. Pengukuran dimensi hasil las dilakukan menggunakan jangka sorong digital, dan waktu pengelasan dicatat menggunakan stopwatch sejak proses penyalan busur hingga akhir penyambungan. Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini meliputi kualitas hasil las, efisiensi waktu pengerjaan, kemudahan penggunaan alat, biaya operasional, serta aspek keselamatan kerja. Kualitas hasil las dinilai melalui pengamatan visual terhadap permukaan manik las, keberadaan cacat (seperti porositas, undercut, atau slag inclusion), serta konsistensi bentuk manik antar titik sambungan. Waktu pengerjaan dihitung berdasarkan durasi rata-rata pengelasan per sambungan, sedangkan kemudahan penggunaan dicatat melalui observasi langsung terhadap posisi kerja operator, kenyamanan pergerakan alat, serta kebutuhan akan penyesuaian manual selama proses berlangsung. Biaya operasional dianalisis secara estimatif berdasarkan konsumsi bahan habis pakai dan kebutuhan peralatan pelengkap, seperti gas pelindung untuk MIG. Aspek keselamatan kerja dievaluasi dari intensitas percikan, asap yang dihasilkan, serta kebutuhan alat pelindung diri (APD).

Untuk menjaga validitas eksperimen, seluruh proses pengelasan dilakukan oleh operator yang sama, pada waktu dan kondisi lingkungan kerja yang seragam. Dengan demikian, variabel yang memengaruhi hasil las dapat dikendalikan secara maksimal, dan perbedaan yang muncul dapat diyakini berasal dari metode pengelasan itu sendiri, bukan dari perbedaan kondisi eksternal atau faktor manusia. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif, dengan menyusun perbandingan dalam bentuk tabel dan narasi untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai keunggulan dan keterbatasan dari masing-masing metode. Tabel berikut menyajikan parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 1. Parameter Pengelasan MIG dan SMAW

Parameter	MIG Welding	SMAW Welding
Jenis Elektroda/Kawat	Kawat MIG Ø 0,8 mm	Elektroda E6013 Ø 2,6 mm

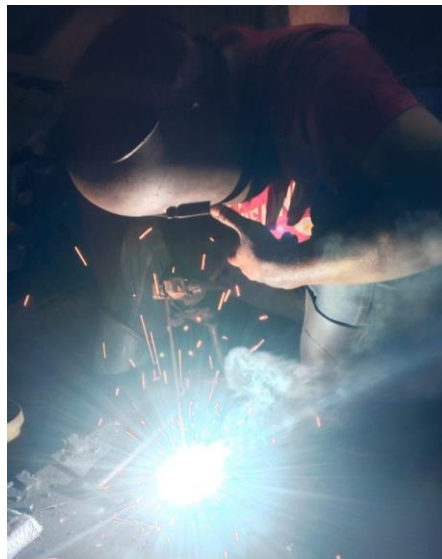
Parameter	MIG Welding	SMAW Welding
Arus Pengelasan	140 A	120 A
Tegangan	20 V	24 V
Gas Pelindung	Argon-CO ₂ mix	Tidak digunakan
Ketebalan Material	6 mm	6 mm
Posisi Pengelasan	Flat position (PA/1G)	Flat position (PA/1G)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi dan membandingkan dua metode pengelasan yang umum digunakan dalam dunia industri manufaktur, yaitu Metal Inert Gas (MIG) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW), berdasarkan lima aspek utama: kualitas hasil las, efisiensi waktu kerja, kemudahan operasional, biaya pelaksanaan, dan kesesuaian dalam konteks kerja industri. Uji coba dilakukan pada material baja karbon rendah (mild steel) berketebalan 6 mm dengan posisi pengelasan datar (flat position/PA/1G). Proses pengelasan dilakukan oleh operator bersertifikat untuk menjamin kualitas dan konsistensi data.

1. HASIL VISUAL PROSES PENGELASAN

Visualisasi proses pengelasan menjadi elemen penting dalam evaluasi kinerja metode MIG dan SMAW karena memberikan gambaran nyata mengenai karakteristik masing-masing teknik di lapangan. Dokumentasi dilakukan secara langsung saat pengelasan berlangsung untuk menangkap detail aktivitas operator, lingkungan kerja, serta karakteristik fisik dari proses yang terjadi.



Gambar 1. Proses pengelasan SMAW oleh operator

Pada proses pengelasan menggunakan metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW), seperti terlihat pada Gambar 1, tampak jelas percikan api yang cukup intens serta kepulan asap yang keluar dari elektroda yang terbakar. Elektroda jenis E6013 yang digunakan mengandung fluks pelindung yang menciptakan atmosfer protektif selama pengelasan, namun sekaligus menghasilkan asap dan slag (terak) yang cukup banyak. Hal ini mengharuskan operator menjaga jarak pandang yang aman, serta melakukan pembersihan setelah pengelasan selesai. Posisi kerja operator cenderung statis dengan pengaturan sudut elektroda yang harus dijaga secara manual sepanjang jalur las. Hal

ini meningkatkan ketergantungan pada keterampilan individu, serta berdampak langsung pada kualitas hasil sambungan.

Selain itu, proses pengelasan SMAW relatif lebih menuntut dari segi ergonomi kerja. Operator harus mengganti elektroda secara manual setelah beberapa puluh detik pengelasan tergantung panjang sambungan dan arus yang digunakan. Situasi ini terlihat dalam dokumentasi ketika operator harus sering berhenti, mengatur ulang posisi, serta membersihkan terak dengan palu dan sikat baja sebelum memulai pengelasan berikutnya. Aktivitas ini meningkatkan waktu siklus dan risiko kelelahan kerja, serta menurunkan efisiensi dalam jangka panjang. Sebaliknya, pada pengelasan menggunakan metode Metal Inert Gas (MIG) yang ditampilkan pada Gambar 2, proses tampak jauh lebih stabil dan bersih. Tidak tampak slag atau percikan besar selama proses pengelasan berlangsung, karena proses ini menggunakan kawat elektroda yang terus-menerus terumpan secara otomatis, dengan gas pelindung (campuran Argon- CO_2) untuk melindungi kolam las dari kontaminasi udara. Operator cukup mengontrol arah dan kecepatan gerakan torch, tanpa perlu mengatur jarak busur atau mengganti elektroda secara manual. Alur kerja menjadi lebih efisien, konsisten, dan berulang.



Gambar 2. Proses pengelasan MIG oleh operator

Keuntungan visual dari metode MIG juga terletak pada minimnya gangguan visual selama pengelasan. Karena tidak ada terak yang menutupi jalur las, hasil sambungan dapat langsung diperiksa secara visual setelah proses selesai. Ini menjadi nilai tambah signifikan dalam proses produksi yang mengandalkan kecepatan dan inspeksi visual secara cepat, seperti pada pabrikasi rangka baja ringan, tangki, atau komponen otomotif. Proses ini juga lebih ramah terhadap operator karena asap yang dihasilkan lebih sedikit dan posisi kerja lebih fleksibel. Namun demikian, pengelasan MIG membutuhkan kontrol lingkungan kerja yang lebih ketat. Keberadaan gas pelindung menjadikan metode ini rentan terhadap gangguan angin atau ventilasi yang terlalu terbuka. Oleh karena itu, seperti tampak pada dokumentasi di lapangan, pengelasan MIG lebih cocok dilakukan di ruang tertutup atau area dengan penghalang angin untuk menjaga stabilitas atmosfer pelindung di sekitar kolam las. Jika tidak dikendalikan dengan baik, gangguan ini dapat menyebabkan cacat berupa porositas atau ketidakstabilan manik las.

Secara keseluruhan, hasil visual proses pengelasan menunjukkan kontras yang signifikan antara kedua metode. SMAW menghasilkan suasana kerja yang lebih padat asap dan banyak tahapan manual, sedangkan MIG lebih bersih, cepat, dan nyaman dari sisi ergonomi. Pilihan metode harus mempertimbangkan bukan hanya kekuatan sambungan akhir, tetapi juga kondisi kerja, keselamatan operator, dan efektivitas siklus produksi. Visual dokumentasi pengelasan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2, menjadi bukti empiris dari karakteristik teknis dan operasional masing-masing metode pengelasan.



Gambar 3. Hasil Visual MIG vs SMAW

2. ANALISIS KUANTITATIF PERBANDINGAN KINERJA

Hasil pengukuran waktu menunjukkan bahwa pengelasan menggunakan metode MIG rata-rata membutuhkan waktu 4 menit untuk satu sambungan, sedangkan metode SMAW memerlukan waktu rata-rata 6,5 menit. Waktu tambahan pada SMAW disebabkan oleh kebutuhan pembersihan slag dan penggantian elektroda secara manual setiap kali habis. Dalam konteks industri manufaktur yang memproduksi dalam jumlah besar, perbedaan ini menjadi signifikan karena dapat memengaruhi produktivitas harian.

Selain itu, biaya operasional untuk MIG lebih tinggi karena memerlukan kawat elektroda kontinu dan gas pelindung (argon-CO₂ mix), sedangkan SMAW tidak membutuhkan gas pelindung. Namun, biaya tersebut dapat diimbangi oleh efisiensi waktu dan kualitas hasil MIG yang lebih konsisten, sehingga mengurangi potensi pekerjaan ulang (*rework*). Tabel berikut merangkum perbandingan data kedua metode:

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Pengelasan MIG dan SMAW

Aspek yang Dinilai	MIG	SMAW
Rata-rata waktu kerja	4 menit per sambungan	6,5 menit per sambungan
Permukaan hasil las	Halus, bersih	Kasar, ada slag
Konsistensi manik	Stabil	Variatif
Risiko cacat las	Rendah (nyaris tidak ada)	Sedang (porositas, undercut)
Biaya operasional	Tinggi (gas dan wire)	Rendah (elektroda fluks)
Fleksibilitas Lokasi	Terbatas (butuh gas pelindung)	Sangat fleksibel (cocok outdoor)
Kemudahan penggunaan	Lebih mudah (semi-otomatis)	Butuh keahlian tinggi

Berdasarkan data pada Tabel 2, metode MIG menunjukkan keunggulan yang cukup signifikan dalam hal efisiensi waktu. Dengan rata-rata waktu pengerjaan sekitar 4 menit per sambungan, MIG lebih cepat dibanding SMAW yang membutuhkan waktu rata-rata 6,5 menit. Efisiensi waktu ini disebabkan oleh mekanisme umpan otomatis kawat elektroda pada MIG, yang tidak memerlukan penggantian elektroda secara manual dan tidak menghasilkan slag yang harus dibersihkan setelah pengelasan. Hal ini memberikan keuntungan besar dalam konteks industri manufaktur yang berorientasi pada volume produksi tinggi dan target waktu yang ketat. Dari aspek permukaan hasil las, MIG memberikan hasil yang lebih bersih dan halus karena tidak menghasilkan slag, serta memiliki tingkat percikan (*spatter*) yang lebih rendah. Sebaliknya, hasil pengelasan dengan metode SMAW cenderung memiliki permukaan kasar akibat pembentukan terak dari elektroda berselaput fluks. Permukaan ini memerlukan pembersihan lanjutan menggunakan palu terak dan sikat baja, yang tidak hanya menambah waktu siklus kerja tetapi juga meningkatkan risiko cacat tersembunyi (*slag inclusion*) bila tidak dibersihkan dengan sempurna.

Konsistensi bentuk manik las juga menjadi indikator penting yang menunjukkan keandalan proses. MIG menghasilkan manik yang lebih stabil dan seragam karena kawat las terumpan secara terus-menerus dengan kecepatan konstan. Hal ini memudahkan operator dalam menjaga kualitas sambungan antar bagian. Sementara itu, SMAW sangat dipengaruhi oleh keterampilan tangan operator, seperti sudut elektroda, kecepatan gerak, dan jarak busur. Hal ini menyebabkan variasi bentuk manik yang cukup besar, terutama pada sambungan dengan posisi sulit. Dari sisi cacat las, MIG relatif lebih aman karena tidak melibatkan slag dan memiliki penetrasi yang konsisten. Dalam penelitian ini, nyaris tidak ditemukan porositas maupun undercut pada sambungan MIG. Sementara itu, pengelasan dengan metode SMAW menunjukkan adanya beberapa indikasi cacat seperti undercut ringan dan porositas kecil, yang bisa terjadi akibat elektroda terlalu cepat atau gerakan tangan yang tidak stabil. Cacat ini membutuhkan evaluasi lanjutan dengan metode non-destruktif seperti uji penetrasi atau visual inspeksi yang teliti.

Pada aspek biaya operasional, SMAW lebih unggul karena tidak membutuhkan gas pelindung dan harga elektroda fluks relatif murah dan mudah didapatkan. MIG, di sisi lain, membutuhkan gas pelindung (argon atau argon-CO₂ mix) yang harus disediakan dalam tekanan stabil, serta kawat elektroda yang lebih mahal. Namun, meskipun

biaya bahan lebih tinggi, efisiensi waktu dan kualitas hasil MIG dapat menurunkan total biaya produksi dalam jangka panjang, terutama jika digunakan untuk produksi berskala besar. Dari segi fleksibilitas, SMAW unggul karena dapat digunakan di berbagai kondisi lingkungan, termasuk di area terbuka, lokasi konstruksi, atau tempat dengan ventilasi buruk. MIG memiliki keterbatasan pada penggunaan luar ruangan karena gas pelindung mudah terganggu oleh angin atau turbulensi, yang dapat menyebabkan cacat porositas atau hilangnya proteksi terhadap logam cair.

Terakhir, dalam aspek kemudahan penggunaan, MIG dinilai lebih mudah dioperasikan karena sebagian besar proses bersifat semi-otomatis. Operator hanya perlu mengarahkan torch tanpa mengatur panjang busur atau mengganti elektroda. Sementara SMAW membutuhkan tingkat keterampilan yang lebih tinggi, terutama dalam menjaga konsistensi sudut elektroda, kecepatan, dan kualitas busur selama proses berlangsung.

Secara kuantitatif, metode MIG memberikan performa lebih baik dalam konteks produktivitas dan kualitas hasil. Namun, SMAW tetap menjadi metode yang relevan dan efisien dalam kondisi kerja lapangan, terutama jika keterbatasan alat dan biaya menjadi pertimbangan utama. Oleh karena itu, pemilihan metode pengelasan sebaiknya mempertimbangkan keseluruhan faktor teknis, ekonomi, dan lingkungan kerja secara holistik.

3. PEMBAHASAN HASIL BERDASARKAN LITERATUR

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode pengelasan MIG memberikan hasil yang lebih bersih, cepat, dan konsisten dibandingkan SMAW, khususnya pada proses fabrikasi baja karbon rendah. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa metode MIG memiliki kekuatan tarik yang lebih merata dan proses pengelasan yang lebih efisien secara waktu dibandingkan SMAW pada material Drill Pipe baja dengan arus 140 A [8]. Dalam studi tersebut, nilai ultimate tensile strength tertinggi dicapai oleh metode SMAW sebesar 681,25 N/mm², namun variasi hasil MIG lebih stabil dan prosedurnya lebih mudah direproduksi. Pengelasan posisi 3G dengan MIG menghasilkan sudut retakan yang lebih tinggi dengan beban lebih kecil dibanding SMAW. Penelitian tersebut menegaskan bahwa hasil pengelasan MIG memiliki karakteristik manik yang lebih bersih, dengan cacat retakan awal yang muncul lebih terlambat, meskipun kekuatannya lebih rendah. Ini konsisten dengan hasil penelitian saat ini, di mana MIG unggul dalam efisiensi, kebersihan jalur las, dan minimnya terak (*slag*) [9].

Dari sisi sistem dan perawatan alat, dalam analisis perawatan mesin las MIG menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) menyoroti pentingnya pemeliharaan wire feeder, torch, dan gas regulator [10]. Hal ini menjadi perhatian karena meskipun MIG unggul secara teknis, biaya peralatan dan kerumitan perawatan menjadi salah satu kendala di lapangan. Dalam penelitian ini, biaya operasional MIG memang tercatat lebih tinggi dibanding SMAW, baik dari aspek konsumsi gas pelindung maupun kawat elektroda kontinu. Kualitas hasil las SMAW juga dipengaruhi oleh faktor keterampilan operator. Karakteristik las SMAW pada baja ST 42 sangat dipengaruhi oleh teknik pengelasan dan pemilihan elektroda [11]. Studi tersebut juga mencatat bahwa pemakaian elektroda E7018 menghasilkan penetrasi yang baik, namun membutuhkan kontrol sudut dan kecepatan tangan yang stabil agar tidak terjadi cacat seperti undercut atau porositas. Dalam penelitian ini, hasil pengelasan SMAW menunjukkan adanya slag sisa yang perlu dibersihkan dan kualitas manik yang tidak seragam, menunjukkan bahwa SMAW memiliki *learning curve* lebih tinggi dibanding MIG.

Proses SMAW menghasilkan busur listrik yang lebih panas ($\pm 3500^{\circ}\text{C}$) dan cocok untuk berbagai jenis logam, tetapi menghasilkan banyak asap dan percikan [12]. Dalam penelitian ini, hal tersebut terlihat jelas saat dokumentasi lapangan dilakukan, di mana proses SMAW menghasilkan lebih banyak polusi visual dan memerlukan pembersihan setelah proses selesai. Dari sisi keselamatan kerja, penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti helm, sarung tangan, dan apron sangat penting dalam pengelasan SMAW karena tingginya paparan panas dan percikan api. Dalam penelitian ini, penggunaan alat pelindung sangat penting terutama saat pengelasan SMAW berlangsung, karena intensitas cahaya busur dan percikan lebih tinggi daripada MIG. Sementara itu, pengelasan MIG, walaupun membutuhkan gas pelindung, menghasilkan lingkungan kerja yang lebih bersih dan minim residu.

Fluks dan terak yang dihasilkan dalam SMAW juga dibahas secara mendalam oleh Astuti (2020). Ia menjelaskan bahwa pembentukan slag pada SMAW bertujuan untuk melindungi logam cair dari oksidasi, tetapi residu tersebut harus dibersihkan secara manual. Penemuan ini sepenuhnya mendukung hasil penelitian ini, yang mencatat bahwa setiap hasil las SMAW harus dibersihkan sebelum inspeksi lebih lanjut dilakukan. Terak yang tersisa dapat menutupi cacat las dan mempersulit deteksi awal. SMAW cocok untuk berbagai jenis logam dan lingkungan kerja, namun tidak efisien untuk material tipis karena potensi burn-through. Ini menjadi catatan penting mengingat penelitian

ini menggunakan material dengan ketebalan 6 mm, yang masih dalam rentang optimal untuk kedua metode, tetapi hasil MIG lebih rapi dan tidak menyebabkan deformasi termal.

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perbandingan antara metode pengelasan Metal Inert Gas (MIG) dan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) pada baja karbon rendah di PT. PG Candi Baru Sidoarjo, dapat disimpulkan bahwa setiap metode memiliki karakteristik keunggulan yang berbeda sesuai dengan konteks penggunaannya. Metode pengelasan MIG menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi waktu, kebersihan hasil las, dan konsistensi manik las. Rata-rata waktu pengerjaan sambungan lebih cepat, permukaan hasil lebih rapi, serta minimnya risiko cacat las menjadikan MIG lebih sesuai untuk produksi massal dan fabrikasi presisi tinggi di lingkungan kerja yang terkendali.

Sebaliknya, metode SMAW lebih unggul dalam hal fleksibilitas aplikasi di lapangan, kemudahan peralatan, serta efisiensi biaya operasional. Meskipun hasil las cenderung membutuhkan pembersihan tambahan akibat terbentuknya slag, metode ini tetap menjadi pilihan utama dalam proyek konstruksi atau pekerjaan luar ruangan yang tidak memerlukan gas pelindung. Dengan demikian, tidak terdapat metode yang sepenuhnya lebih unggul dalam seluruh aspek. Pemilihan metode pengelasan ideal sebaiknya disesuaikan dengan kebutuhan teknis, kondisi lapangan, ketersediaan peralatan, dan tingkat keterampilan operator. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pelaku industri dalam menentukan metode pengelasan yang paling tepat guna dan efektif sesuai karakteristik proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. PG Candi Baru Sidoarjo yang telah memberikan izin, fasilitas, dan dukungan teknis selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada tim teknisi dan operator pengelasan di lingkungan perusahaan atas partisipasi aktif dalam pelaksanaan pengujian. Penelitian ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa bantuan dan kerja sama dari semua pihak tersebut.

REFERENSI

- [1] A. V. Prasmoro, "Analisa sistem perawatan pada mesin las MIG dengan metode Failure Mode and Effect Analysis: Studi kasus di PT. TE," *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 1, p. 13, 2020, doi: 10.22441/oe.2020.v12.i1.002.
- [2] Andrialia, D., Tama, I. P., & Rahman, A. (2014). Strategi Perawatan Pada Mesin Las Mig Di Industri Karoseri Kendaraan Niaga Dengan Simulasi Monte Carlo (Studi kasus: PT. Adi Putro Wirasejati Malang). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*, 2(1), 163–174.
- [3] Astuti, N. N. K. (2022). Pengaruh Proses Flame Straightening terhadap Sifat Mekanik pada Sambungan Las GMAW Dissimilar Metal Baja S690Q dan S355J2+ N.
- [4] 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.
- [5] F. Budhi Susetyo, J. Amirudin, and V. Yudianto, "Studi Karakteristik Pengelasan Smaw Pada Baja Karbon Rendah St 42 Dengan Elektroda E 7018," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 1, no. 1, pp. 32–39, 2013, doi: 10.21009/jkem.1.1.4.
- [6] M. P. S. Paskel, M. Ariyon, F. Fitrianti, A. Sebayang, E. Tarigan, and L. Tarigan, "Analisa Perbandingan Kekuatan Hasil Pengelasan Drill Pipe Baja dengan Menggunakan Metode Pengelasan SMAW dan MIG dengan Arus 140 A," *JIIP - J. Ilm. Ilmu Pendidik.*, vol. 7, no. 9, pp. 9493–9497, 2024, doi: 10.54371/jiip.v7i9.5920.
- [7] M. Shiddiq, I. Irzal, P. Purwantono, and Y. Fernanda, "Analisa Perbandingan Hasil Pengelasan Las Smaw Dengan Las Mig Pada Posisi 3G Dengan Material Jis G3101 Ss400," *J. Vokasi Mek.*, vol. 4, no. 3, pp. 55– 61, 2022, doi: 10.24036/vomek.v4i3.401.
- [8] Nasution, A. K., Ramadhan, R., & Sunaryo, S. (2017). STUDI PENYAMBUNGAN MATERIAL KATUP KENDARAAN MENJADI BIMETAL MENGGUNAKAN METODE Friction Welding. *Prosiding CELSciTech*, 2, tech_5-tech_8.
- [9] P. Ananda and J. Jamaaluddin, "Pengaruh Radiasi Elektromagnetik dari Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) terhadap kesehatan," *J. Umsida*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [10] Paskel, M. P. S., Ariyon, M., Fitrianti, F., Sebayang, A., Tarigan, E., & Tarigan, L. (2024). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Material Hasil Pengelasan Drill Pipe Baja dengan Menggunakan Metode Pengelasan SMAW dan MIG dengan Arus 140 A. *JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(9), 9493-9497.

- [11] Prasmoro, A. V. (2020). Analisa sistem perawatan pada mesin las MIG dengan metode Failure Mode and Effect Analysis: Studi kasus di PT. TE. *Jurnal Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 12(1), 13-27.
- [12] Shiddiq, M., Irzal, I., Purwantono, P., & Fernanda, Y. (2022). ANALISA PERBANDINGAN HASIL PENGELASAN LAS SMAW DENGAN LAS MIG PADA POSISI 3G DENGAN MATERIAL JIS G3101 SS400. *Jurnal Vokasi Mekanika*, 4(3), 55-61.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.