

Effect of TIG welding current variation on the tensile strength of stainless steel 304 welded joints

Dian Anisa Rokhmah Wati^a, Muhammad Alfiyan Rifqi Maulana^a, Toto Supriyono^{b,1},
Muhammad Fahrur Rozi^{c,2}

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Hasyim Asy'ari, Jombang, Indonesia, 61471

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia, 40153

^cFTKM, Universiti Teknikal Malaysia, Melaka, Malaysia, 76100

¹E-mail: supriyono.toto@unpas.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.23969/ksjme.v2i1.44002>

Received: 27 Januari 2026; Revised: 26 March 2026; Published: 6 April 2026

Abstract. This study investigates the effect of TIG welding current variation on the tensile strength characteristics of stainless steel 304 welded joints. The research is motivated by the need to optimize welding parameters to ensure reliable mechanical performance and minimize variability in welded structures used in industrial applications. Inadequate control of welding current may lead to unstable heat input, affecting weld penetration, microstructural homogeneity, and joint strength. Therefore, this study aims to evaluate the influence of welding current on tensile performance through an experimental and statistical approach. Welding was conducted at two current levels, 115 A and 125 A, followed by tensile testing in accordance with ASTM E8 standards. Statistical analyses, including descriptive statistics and one-way ANOVA, were applied to assess the significance of current variation. The results indicate that the average tensile strength increased from 28.33 MPa at 115 A to 42.87 MPa at 125 A, with reduced data variability at higher current. ANOVA confirmed a significant effect of welding current ($p < 0.05$). These findings suggest that higher heat input within an optimal range improves weld integrity and mechanical consistency. The study concludes that appropriate current selection enhances joint reliability, offering practical implications for welding parameter optimization and future research on microstructural and process parameter interactions.

Keywords: TIG welding, stainless steel 304, tensile strength, current variation, welded joints

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap karakteristik kekuatan tarik sambungan stainless steel 304. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada pentingnya optimasi parameter pengelasan untuk menghasilkan sambungan yang memiliki performa mekanik yang andal dan konsisten dalam aplikasi industri. Ketidaktepatan pemilihan arus pengelasan dapat menyebabkan distribusi panas yang tidak stabil, yang berdampak pada kualitas penetrasi las, homogenitas struktur mikro, serta kekuatan sambungan. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi arus pengelasan sebesar 115 A dan 125 A, dilanjutkan dengan pengujian tarik sesuai standar ASTM E8. Analisis statistik dilakukan melalui statistik deskriptif dan uji ANOVA untuk menentukan signifikansi pengaruh arus terhadap kekuatan tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata kekuatan tarik meningkat dari 28.33 MPa pada arus 115 A menjadi 42.87 MPa pada arus 125 A, dengan tingkat variasi data yang lebih kecil pada arus yang lebih tinggi. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa variasi arus berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan arus dalam rentang optimal dapat meningkatkan kualitas sambungan las dan konsistensi hasil, serta memberikan implikasi praktis dalam optimasi parameter pengelasan dan pengembangan penelitian lanjutan terkait karakterisasi mikrostruktur.

Kata kunci: pengelasan TIG, stainless steel 304, kekuatan tarik, variasi arus, sambungan las

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan salah satu proses manufaktur yang sangat penting dalam industri konstruksi, energi, transportasi, dan peralatan proses, khususnya dalam penyambungan material logam seperti stainless steel [1,2]. Salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan adalah

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) atau TIG welding, karena mampu menghasilkan kualitas sambungan yang baik, presisi tinggi, serta percikan las yang minimal [3]. Stainless steel 304 merupakan material yang banyak diaplikasikan karena memiliki ketahanan korosi yang baik, kekuatan mekanik yang memadai, serta kemudahan dalam proses fabrikasi. Namun, kualitas sambungan las

pada material ini sangat dipengaruhi oleh parameter proses pengelasan, terutama arus pengelasan yang berperan langsung dalam menentukan besarnya heat input dan karakteristik metalurgi sambungan [4].

Permasalahan utama dalam pengelasan stainless steel adalah ketidakstabilan kualitas sambungan akibat variasi parameter proses, yang dapat menyebabkan perubahan struktur mikro, pembentukan cacat las, serta penurunan kekuatan mekanik. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa parameter arus pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas sambungan las [5]. Penelitian oleh Wartono et al. (2021) [6] menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan TIG dapat meningkatkan penetrasi las dan kekuatan tarik hingga batas tertentu sebelum terjadi degradasi sifat mekanik akibat pertumbuhan butir. Penelitian oleh Yuniarto et al. (2019) [7] melaporkan bahwa heat input yang tidak optimal menyebabkan terbentuknya zona terpengaruh panas (HAZ) yang lebih luas dan menurunkan homogenitas struktur mikro. Selanjutnya, studi oleh Panjalu et al. (2025) [8] menemukan bahwa variasi arus pengelasan berpengaruh terhadap distribusi kekerasan dan karakteristik patahan pada sambungan stainless steel. Penelitian oleh Haikal et al. (2021) [9] menegaskan bahwa kontrol parameter pengelasan yang tepat dapat meningkatkan stabilitas proses serta performa mekanik sambungan. Selain itu, penelitian oleh Maulana et al. (2025) [10] menunjukkan bahwa variasi arus pengelasan TIG pada material stainless steel berpengaruh terhadap konsistensi hasil pengujian mekanik, khususnya kekuatan tarik.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik, masih terdapat kesenjangan penelitian (research gap) terkait evaluasi kuantitatif pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap karakteristik kekuatan tarik stainless steel 304 dengan pendekatan analisis statistik yang komprehensif. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menekankan pada analisis metalurgi atau pengujian mekanik secara deskriptif, tanpa didukung oleh analisis statistik yang sistematis untuk menilai signifikansi perbedaan hasil. Selain itu, terdapat kesenjangan analisis (analysis gap) dalam hal integrasi antara hasil eksperimen, analisis statistik, dan interpretasi fenomena metalurgi dalam satu kerangka penelitian yang utuh.

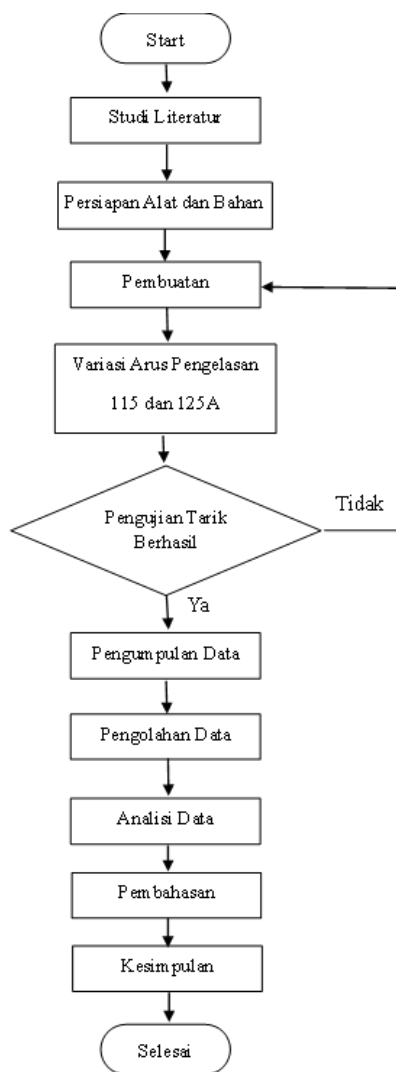
Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap karakteristik

kekuatan tarik sambungan stainless steel 304 melalui pendekatan eksperimental dan analisis statistik. Penelitian ini penting dilakukan karena optimasi parameter pengelasan sangat berpengaruh terhadap keandalan sambungan dalam aplikasi industri yang menuntut performa mekanik tinggi dan konsistensi kualitas. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan analisis statistik yang terintegrasi untuk mengevaluasi signifikansi pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik, sehingga memberikan pemahaman yang lebih kuantitatif dan sistematis dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi ilmiah dalam optimasi parameter pengelasan TIG pada material stainless steel 304, khususnya dalam meningkatkan kekuatan tarik dan stabilitas hasil pengelasan. Selain itu, hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis dalam pengembangan proses manufaktur yang lebih efisien dan andal, serta dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait pengaruh parameter proses lainnya seperti kecepatan pengelasan, jenis elektroda, dan karakterisasi struktur mikro sambungan las.

METODOLOGI

Gambar 1 memperlihatkan tahapan penelitian ini. Penelitian diawali dengan tahap studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji teori dan penelitian terdahulu terkait proses pengelasan TIG, pengaruh parameter arus terhadap kualitas sambungan las, serta karakteristik mekanik stainless steel 304. Tahap ini penting untuk menentukan variabel penelitian, metode pengujian, serta pendekatan analisis yang digunakan. Selanjutnya dilakukan persiapan alat dan bahan yang meliputi pemilihan material stainless steel 304, persiapan mesin las TIG, elektroda tungsten, gas pelindung, serta peralatan pendukung proses pengelasan dan pengujian mekanik. Tahap berikutnya adalah proses pembuatan spesimen uji yang dilakukan sesuai dengan standar pengujian tarik yang berlaku. Spesimen disiapkan dengan dimensi tertentu untuk memastikan keseragaman hasil pengujian. Setelah spesimen siap, proses pengelasan dilakukan dengan variasi arus sebesar 115 A dan 125 A sebagai variabel utama penelitian. Variasi arus ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan heat input terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan. Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan sambungan las yang dihasilkan. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif mengenai performa mekanik sambungan las pada

masing-masing variasi arus. Apabila pengujian tarik berhasil dilakukan, maka data hasil pengujian dikumpulkan dan didokumentasikan secara sistematis untuk tahap analisis selanjutnya. Tahap berikutnya adalah pengolahan data yang meliputi perhitungan nilai rata-rata, variansi, serta analisis statistik seperti uji normalitas, uji homogenitas varians, dan analisis ANOVA. Analisis data dilakukan untuk menentukan signifikansi pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las.



Gambar 1. Tahapan penelitian

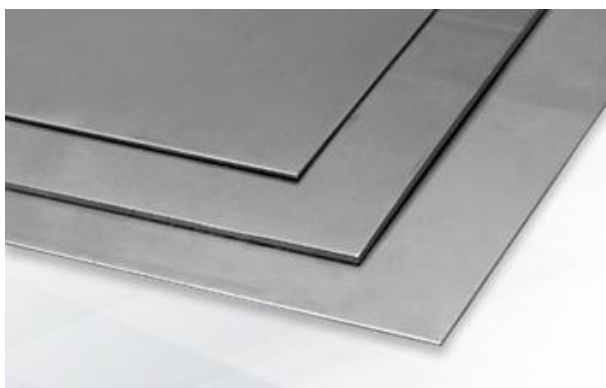
Hasil analisis kemudian dibahas secara komprehensif dengan mengaitkan fenomena statistik yang diperoleh dengan mekanisme metalurgi las, seperti perubahan heat input, struktur mikro, dan kualitas penetrasi las. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan yang merangkum temuan utama penelitian terkait

pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap karakteristik kekuatan tarik sambungan stainless steel 304. Kesimpulan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam optimasi parameter pengelasan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya. Setelah seluruh tahapan selesai dilaksanakan, penelitian dinyatakan selesai sesuai dengan alur metodologi yang telah dirancang.

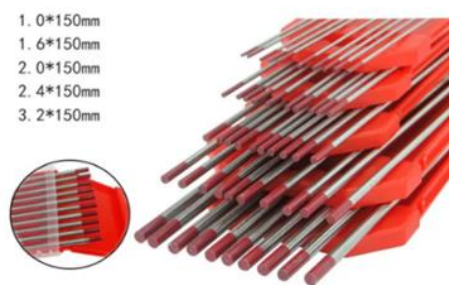
Material

Material yang digunakan adalah pelat stainless steel 304 seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Stainless steel 304 (SS304) merupakan baja tahan karat austenitik yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri, termasuk konstruksi, peralatan kimia, serta komponen yang memerlukan ketahanan korosi dan kemampuan fabrikasi yang baik. Material ini termasuk dalam kelompok stainless steel seri 18-8, yang mengandung sekitar 18% kromium dan 8% nikel. Kombinasi unsur paduan tersebut memberikan sifat mekanik yang baik, ketahanan oksidasi tinggi, serta stabilitas mikrostruktur austenitik pada suhu ruang [11]. Sifat mekanik stainless steel 304 memiliki kekuatan tarik ultimit berkisar antara 515–750 MPa, dengan yield strength sekitar 205 MPa [12]. Nilai elongasi relatif tinggi, yaitu sekitar 40–60%, yang menunjukkan keuletan (ductility) yang baik dan kemampuan deformasi plastis sebelum mengalami kegagalan. Kekerasan material ini umumnya berada pada kisaran HRB 70–90 atau sekitar 150–200 HV, tergantung pada kondisi perlakuan panas dan proses fabrikasi sebelumnya. Modulus elastisitas stainless steel 304 berada pada kisaran 193 GPa, yang menunjukkan kekakuan material yang cukup tinggi dalam menahan deformasi elastis [4]. Sifat fisik stainless steel 304 memiliki densitas sekitar 7850 kg/m³, konduktivitas termal sekitar 16 W/m·K, serta koefisien muai termal relatif tinggi dibandingkan dengan baja karbon, yaitu sekitar $17.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Hal ini menyebabkan material cukup sensitif terhadap distorsi termal selama proses pengelasan. Selain itu, material ini memiliki titik lebur pada kisaran 1400–1450 °C, yang berpengaruh terhadap pembentukan kolom las dan distribusi heat input selama proses pengelasan TIG [7]. Metalurgi stainless steel 304 memiliki struktur mikro austenitik yang stabil karena kandungan nikel yang cukup tinggi. Struktur ini memberikan ketahanan korosi yang sangat baik, terutama terhadap korosi oksidasi dan lingkungan atmosfer. Namun demikian, material ini rentan terhadap sensitisasi pada temperatur 450–850 °C, yang dapat menyebabkan terbentuknya presipitasi kromium

karbida di batas butir dan menurunkan ketahanan korosi intergranular. Oleh karena itu, dalam proses pengelasan diperlukan pengendalian parameter seperti arus, kecepatan pengelasan, dan heat input untuk mencegah degradasi sifat mekanik dan ketahanan korosi. Sifat mekanik stainless steel 304 yang ulet dan konduktivitas termalnya yang relatif rendah menyebabkan distribusi panas menjadi lebih terlokalisasi. Kondisi ini dapat memengaruhi ukuran zona terpengaruh panas (HAZ), laju pendinginan, serta pembentukan struktur mikro hasil pengelasan, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las yang dihasilkan [13].



Gambar 2. Plat stainless steel 304



Gambar 3. Elektroda las TIG [14]

Gambar 3 memperlihatkan elektroda las TIG yang digunakan. Untuk proses pengelasan TIG (GTAW) pada stainless steel 304, pemilihan elektroda sangat penting karena akan memengaruhi stabilitas busur, kualitas penetrasi, serta kebersihan logam las. Elektroda yang digunakan pada proses TIG bukan sebagai bahan pengisi, melainkan sebagai elektroda tungsten non-consumable yang berfungsi menghasilkan busur listrik yang stabil. Elektroda yang direkomendasikan untuk pengelasan stainless steel 304 adalah elektroda tungsten dengan penambahan unsur paduan

tertentu, seperti thoriated (EWTh-2), ceriated (EWCe-2), atau lanthanated (EWLa-2). Dalam praktik modern, elektroda lanthanated atau ceriated lebih disarankan karena lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan thoriated yang mengandung unsur radioaktif. Elektroda ini mampu menghasilkan busur yang lebih stabil, kemudahan penyalaan (arc starting), serta ketahanan terhadap kontaminasi selama proses pengelasan. Dari segi spesifikasi teknis, elektroda tungsten yang digunakan umumnya memiliki diameter 1.6 mm hingga 2.4 mm, tergantung pada besarnya arus pengelasan yang digunakan. Untuk rentang arus sekitar 115–125 A, elektroda dengan diameter 2.4 mm lebih direkomendasikan karena mampu menahan panas yang lebih tinggi tanpa mengalami degradasi ujung elektroda. Ujung elektroda biasanya diasah dengan sudut lancip sekitar 20–30°, yang bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi busur dan menghasilkan penetrasi las yang lebih baik. Selain itu, penggunaan gas pelindung argon murni ($\geq 99.99\%$) sangat penting untuk mencegah oksidasi elektroda dan logam las selama proses pengelasan. Aliran gas pelindung umumnya berada pada kisaran 8–12 L/min, tergantung kondisi lingkungan dan posisi pengelasan. Dalam pengelasan stainless steel 304, elektroda tungsten dijaga kebersihannya dari kontaminasi logam induk maupun bahan pengisi. Kontaminasi dapat menyebabkan instabilitas busur dan menurunkan kualitas sambungan las.

Peralatan

Mesin las yang digunakan dalam penelitian ini, seperti diperlihatkan pada Gambar 4, adalah mesin las TIG tipe DC inverter TITAN TIG-200 yang dirancang untuk proses Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) dengan sumber arus searah (Direct Current). Mesin ini memiliki kapasitas arus maksimum sekitar 200 A, sehingga sangat sesuai untuk pengelasan material stainless steel 304 dengan variasi arus penelitian pada rentang 115–125 A. Teknologi inverter yang digunakan memungkinkan mesin memiliki efisiensi energi tinggi, stabilitas busur yang baik, serta ukuran yang lebih ringkas dibandingkan dengan mesin las konvensional. Mesin TIG ini bekerja dengan menghasilkan busur listrik antara elektroda tungsten non-consumable dan logam induk, sementara perlindungan terhadap oksidasi dilakukan menggunakan gas pelindung argon yang dialirkan melalui torch. Panel kontrol pada mesin memungkinkan pengaturan parameter utama seperti arus pengelasan, mode operasi, serta stabilitas busur, sehingga operator dapat mengontrol heat

input secara presisi. Stabilitas arus yang dihasilkan oleh sistem inverter sangat penting dalam penelitian ini karena memengaruhi kualitas penetrasi las, ukuran zona terpengaruh panas (HAZ), serta karakteristik mekanik sambungan. Peralatan pendukung yang digunakan bersama mesin ini meliputi torch TIG, kabel massa (ground clamp), regulator gas argon, serta selang distribusi gas, yang berfungsi menjaga kontinuitas arus dan perlindungan atmosfer selama proses pengelasan. Penggunaan mesin TIG DC inverter memberikan keuntungan berupa kontrol panas yang lebih baik, percikan las yang minimal, serta kualitas sambungan yang lebih bersih dan presisi, sehingga sangat sesuai untuk penelitian yang berfokus pada evaluasi pengaruh variasi arus terhadap kekuatan tarik sambungan stainless steel 304.

Gambar 5 memperlihatkan mesin gerinda tangan (angle grinder) tipe listrik portabel, yang berfungsi sebagai alat bantu dalam proses persiapan spesimen dan finishing hasil pengelasan. Gerinda tangan bekerja dengan prinsip putaran motor listrik berkecepatan tinggi yang memutar piringan abrasif (grinding disc atau cutting disc) untuk melakukan proses pemotongan, perataan, maupun pembersihan permukaan logam. Mesin gerinda tangan memiliki beberapa fungsi utama. Pertama, digunakan untuk memotong material awal sesuai dimensi spesimen yang dibutuhkan sebelum proses pengelasan dilakukan. Kedua, alat ini berperan dalam membersihkan permukaan logam induk dari oksida, kotoran, atau kontaminan, sehingga kualitas sambungan las dapat ditingkatkan. Permukaan yang bersih akan membantu menghasilkan penetrasi las yang lebih baik dan mengurangi potensi cacat seperti porositas atau lack of fusion. Setelah proses pengelasan selesai, gerinda tangan digunakan untuk merapikan permukaan hasil las (weld bead finishing) agar spesimen memenuhi standar pengujian tarik. Proses ini penting untuk menghindari adanya konsentrasi tegangan akibat ketidakteraturan permukaan yang dapat memengaruhi hasil pengujian mekanik. Dengan demikian, penggunaan mesin gerinda tangan dalam penelitian ini berkontribusi terhadap keseragaman spesimen, kualitas sambungan las, serta akurasi hasil pengujian tarik yang diperoleh.

Mesin uji tarik yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 6. Merupakan mesin uji tarik (Universal Testing Machine/UTM) tipe hidrolik, yang berfungsi untuk mengukur sifat mekanik material, khususnya kekuatan tarik sambungan las stainless steel 304. Mesin ini bekerja dengan prinsip pemberian beban tarik secara

bertahap pada spesimen hingga terjadi deformasi plastis dan akhirnya patah. Beban yang diberikan dikontrol melalui sistem hidrolik, sedangkan perubahan gaya dan regangan material ditampilkan melalui panel indikator analog maupun digital.



Gambar 4. Mesin las TIG



Gambar 5. Mesin gerinda tangan



Gambar 6. Mesin uji tarik yang digunakan

Pada proses pengujian, spesimen hasil pengelasan dipasang pada grip penjepit atas dan bawah mesin uji tarik. Selanjutnya, beban tarik

diberikan secara kontinu dengan kecepatan tertentu sesuai standar pengujian yang digunakan. Selama pengujian berlangsung, mesin akan merekam parameter penting seperti beban maksimum (ultimate load), tegangan tarik maksimum (ultimate tensile strength), serta perilaku deformasi material sebelum mengalami kegagalan. Data yang diperoleh dari pengujian ini menjadi dasar dalam menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap performa mekanik sambungan las. Penggunaan mesin uji tarik tipe hidrolik memberikan keuntungan berupa kapasitas beban yang besar, stabilitas pembebanan yang baik, serta akurasi pengukuran yang tinggi, sehingga sangat sesuai untuk penelitian karakterisasi mekanik material logam. Hasil pengujian tarik digunakan sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kualitas sambungan las yang dihasilkan pada masing-masing variasi arus pengelasan.

Gambar 7 menunjukkan proses penyambungan spesimen menggunakan metode pengelasan TIG (Gas Tungsten Arc Welding) yang dilakukan secara manual oleh operator di laboratorium proses produksi. Operator menggunakan pelindung wajah (welding helmet) untuk melindungi mata dan wajah dari radiasi ultraviolet serta percikan panas yang dihasilkan selama proses pengelasan. Posisi operator yang duduk menunjukkan bahwa proses pengelasan dilakukan dengan teknik kontrol tangan yang stabil untuk menjaga kualitas jalur las (weld bead).



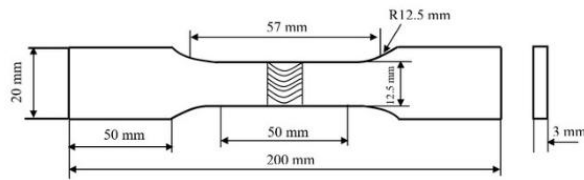
Gambar 7. Proses penyambungan SS304

Pada gambar terlihat busur listrik yang terang antara elektroda tungsten dan permukaan logam, yang merupakan karakteristik utama proses TIG.

Busur ini berfungsi untuk melelehkan logam induk sehingga terbentuk kolam las yang memungkinkan terjadinya penyambungan metalurgi antarspesimen. Meja kerja logam digunakan sebagai platform penyangga spesimen, yang membantu menjaga posisi sambungan tetap stabil selama proses pengelasan berlangsung. Proses ini merupakan tahap penting untuk menghasilkan spesimen sambungan las stainless steel 304 dengan variasi arus tertentu (115 A dan 125 A). Kontrol parameter seperti arus pengelasan, jarak elektroda, sudut torch, serta aliran gas pelindung sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan yang dihasilkan. Kualitas proses pengelasan yang baik akan menentukan performa mekanik sambungan, khususnya kekuatan tarik yang kemudian diuji pada tahap berikutnya.

Spesimen

Dimensi spesimen uji tarik untuk material logam, termasuk sambungan las stainless steel 304, mengacu pada standar internasional ASTM E8/E8M (Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials) [15]. Standar ini mengatur bentuk, ukuran, serta panjang pengukuran spesimen agar hasil pengujian dapat dibandingkan secara ilmiah dan memiliki validitas yang tinggi. Standar ASTM E8/E8M merekomendasikan spesimen tipe sub-size atau reduced section specimen. Dimensi utama spesimen, seperti disajikan pada Gambar 8 meliputi panjang total sekitar 200 mm, panjang daerah ukur (gauge length) sekitar 50 mm, serta panjang bagian reduksi (reduced section) sekitar 57 mm. Lebar spesimen pada bagian gauge adalah 12.5 mm, sedangkan ketebalan mengikuti ketebalan material pelat yang digunakan, yaitu 3 mm. Bagian ujung spesimen dibuat lebih lebar untuk memudahkan penjepitan pada mesin uji tarik. Radius transisi antara bagian pegangan dan bagian gauge sekitar 12.5 mm, yang bertujuan untuk menghindari konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan prematur di luar daerah ukur [16]. Penentuan dimensi ini sangat penting agar patahan terjadi pada daerah sambungan las yang diuji, sehingga nilai kekuatan tarik yang diperoleh benar-benar merepresentasikan kualitas sambungan las tersebut. Posisi jalur las ditempatkan tepat di tengah gauge length, sehingga distribusi tegangan tarik selama pengujian berfokus pada daerah sambungan. Dengan mengikuti standar ASTM E8/E8M, hasil pengujian tarik menjadi lebih reliabel, dapat direproduksi, dan memenuhi persyaratan publikasi ilmiah di bidang teknik material dan pengelasan.



Gambar 8. Dimensi standar specimen [16]

Pengolahan data

Pengolahan data hasil uji tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength, UTS) dari spesimen yang telah diuji. Tahap awal pengolahan data dimulai dengan mencatat nilai beban maksimum (maximum load) yang diperoleh dari mesin uji tarik pada saat spesimen mengalami patah. Nilai beban ini umumnya ditampilkan dalam satuan newton (N) atau kiloNewton (kN), sehingga apabila diperoleh dalam satuan lain seperti kilogram-force (kgf), perlu dilakukan konversi terlebih dahulu ke dalam satuan newton agar sesuai dengan perhitungan mekanika bahan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan luas penampang awal spesimen (initial cross-sectional area) yang diperoleh dari hasil pengukuran dimensi spesimen sebelum pengujian, yaitu lebar dan tebal spesimen. Luas penampang ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan tegangan tarik. Nilai kekuatan tarik maksimum kemudian dihitung menggunakan persamaan dasar tegangan, yaitu dengan membagi beban maksimum terhadap luas penampang awal spesimen. Hasil perhitungan ini dinyatakan dalam satuan MPa atau N/mm², yang merepresentasikan kemampuan material atau sambungan las dalam menahan beban tarik maksimum sebelum mengalami kegagalan. Apabila mesin uji tarik dilengkapi dengan sistem pencatatan grafik, maka nilai kekuatan tarik maksimum dapat diperoleh langsung dari puncak kurva tegangan-regangan yang dihasilkan selama pengujian. Selain itu, data regangan juga dapat dihitung berdasarkan perubahan panjang spesimen setelah pengujian untuk menganalisis tingkat keuletan material. Setelah seluruh nilai kekuatan tarik dari masing-masing spesimen diperoleh, data tersebut kemudian diolah secara statistik dengan menghitung nilai rata-rata, variasi, serta analisis lanjutan seperti uji normalitas dan ANOVA. Proses pengolahan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi arus pengelasan terhadap karakteristik kekuatan tarik sambungan stainless steel 304 secara ilmiah dan sistematis.

Persamaan (1) berikut ini digunakan untuk menentukan tegangan maksimum yang terjadi dalam uji tarik [4,8,17].

$$\sigma_u = \frac{F_{max}}{A_o} \quad (1)$$

Di mana, F_{max} adalah beban maksimal (N) yang diperoleh dari hasil uji tarik, dan A_o adalah luas penampang spesimen awal (36 mm²).

Analisis ketidakpastian

Ketidakpastian dari hasil pengukuran berulang (repeatability uncertainty) ditentukan untuk mengetahui sejauh mana nilai hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang menunjukkan konsistensi dan kedekatan terhadap nilai sebenarnya [18,19]. Dalam penelitian uji tarik, ketidakpastian ini termasuk dalam ketidakpastian tipe A, yaitu ketidakpastian yang diperoleh melalui analisis statistik terhadap sekumpulan data hasil pengujian yang dilakukan pada kondisi yang sama. Langkah pertama adalah menghitung nilai rata-rata (mean) dari seluruh hasil pengukuran berulang. Nilai rata-rata ini dianggap sebagai estimasi terbaik dari nilai sebenarnya. Selanjutnya, dihitung simpangan baku (standard deviation) yang menggambarkan tingkat penyebaran data terhadap nilai rata-rata. Semakin kecil simpangan baku, semakin tinggi tingkat konsistensi hasil pengukuran. Simpangan baku kemudian digunakan untuk menghitung standard error, yaitu simpangan baku yang dibagi dengan akar jumlah pengulangan. Nilai standard error ini menunjukkan tingkat ketidakpastian dari nilai rata-rata yang diperoleh. Untuk menyatakan ketidakpastian dalam bentuk yang lebih informatif, digunakan interval kepercayaan, biasanya pada tingkat kepercayaan 95%. Interval ini dihitung dengan mengalikan standard error dengan faktor distribusi t-Student sesuai jumlah data pengulangan. Hasilnya menunjukkan rentang nilai di sekitar rata-rata yang diperkirakan mencakup nilai sebenarnya. Dengan demikian, hasil pengukuran berulang dapat dilaporkan dalam bentuk nilai rata-rata beserta ketidakpastiannya, $X \pm U$, yang mencerminkan kualitas repeatability eksperimen. Pendekatan ini penting dalam penelitian material dan pengelasan karena memberikan indikasi keandalan data serta membantu dalam interpretasi hasil analisis statistik lanjutan.

Nilai ketidakpastian dari pengukuran berulang dapat ditentukan menggunakan persamaan (2) [20–22].

$$u = t_{u,v} \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

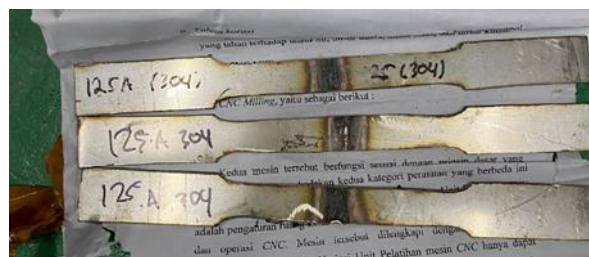
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Gambar 5 menunjukkan spesimen uji tarik sambungan las stainless steel 304 setelah dilakukan proses pengujian tarik. Spesimen ditampilkan dalam dua kelompok berdasarkan variasi arus pengelasan TIG, yaitu (a) spesimen dengan arus 115 A dan (b) spesimen dengan arus 125 A. Setiap kelompok terdiri dari beberapa spesimen yang telah mengalami kegagalan (fracture) akibat pembebanan tarik selama pengujian. Pada gambar terlihat bahwa lokasi patahan umumnya terjadi di sekitar daerah sambungan las atau zona terpengaruh panas (Heat-Affected Zone/HAZ), yang merupakan area kritis dalam evaluasi kekuatan sambungan. Warna kehitaman di sekitar jalur las menunjukkan efek termal dari proses pengelasan, termasuk perubahan struktur mikro akibat distribusi heat input. Perbedaan karakteristik patahan antarspesimen dapat memberikan indikasi terhadap kualitas penetrasi las, homogenitas logam las, serta kestabilan proses pengelasan pada masing-masing variasi arus. Secara visual, spesimen hasil pengelasan dengan arus lebih rendah cenderung menunjukkan zona termal yang lebih sempit dan kemungkinan penetrasi yang kurang optimal, sedangkan pada arus yang lebih tinggi terlihat distribusi panas yang lebih luas dan jalur las yang lebih konsisten. Analisis terhadap bentuk dan lokasi patahan ini penting untuk mendukung interpretasi hasil pengujian tarik secara kuantitatif, karena membantu mengidentifikasi hubungan antara parameter proses pengelasan dan performa mekanik sambungan yang dihasilkan.



(a)

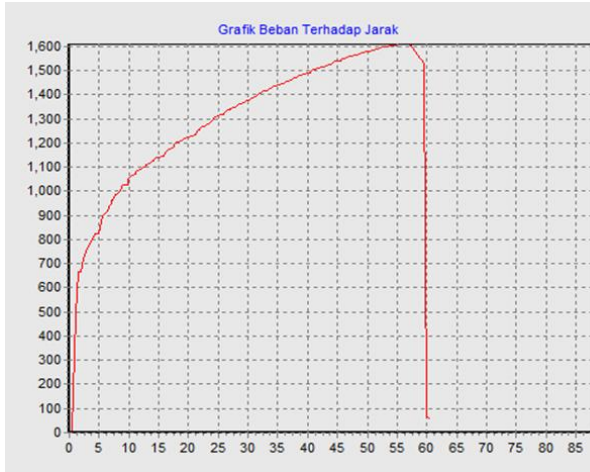


(b)

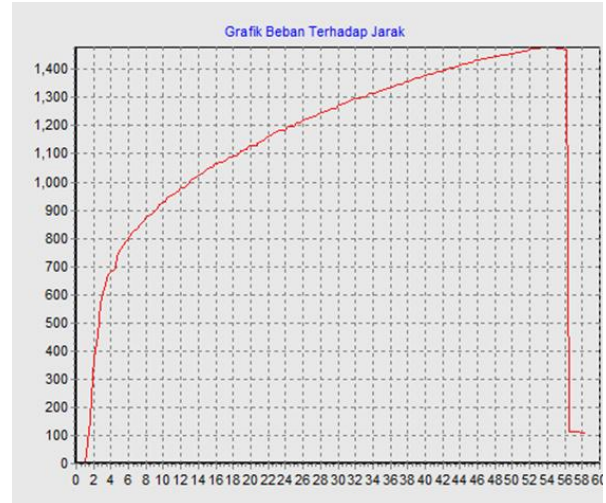
Gambar 5. Spesimen

Gambar 8 memperlihatkan grafik hubungan beban terhadap pertambahan panjang hasil uji tarik pada spesimen sambungan las stainless steel 304 dengan arus pengelasan 125 A, diperoleh nilai beban maksimum yang berbeda pada masing-masing spesimen. Spesimen pertama menunjukkan beban maksimum sekitar 1.55 kN atau setara dengan 1550 N, sedangkan spesimen kedua mencapai beban maksimum sekitar 1.40 kN atau 1400 N. Sementara itu, spesimen ketiga menunjukkan nilai beban maksimum sekitar 1.50 kN atau 1500 N. Perbedaan nilai beban maksimum ini mengindikasikan adanya variasi performa mekanik sambungan las yang dihasilkan pada arus pengelasan tersebut. Jika dihitung secara keseluruhan, nilai rata-rata beban maksimum dari ketiga spesimen pada arus 125 A adalah sekitar 1483 N. Variasi nilai beban maksimum antarspesimen dapat disebabkan oleh ketidakseragaman distribusi panas selama proses pengelasan, yang memengaruhi kualitas penetrasi, homogenitas logam las, serta karakteristik struktur mikro pada daerah sambungan. Dengan demikian, meskipun sambungan las pada arus 125 A masih mampu menahan beban tarik hingga mendekati nilai tertentu, tingkat konsistensi kekuatan yang dihasilkan relatif lebih rendah, yang menunjukkan bahwa parameter arus tersebut belum sepenuhnya optimal dalam menghasilkan kualitas sambungan yang seragam.

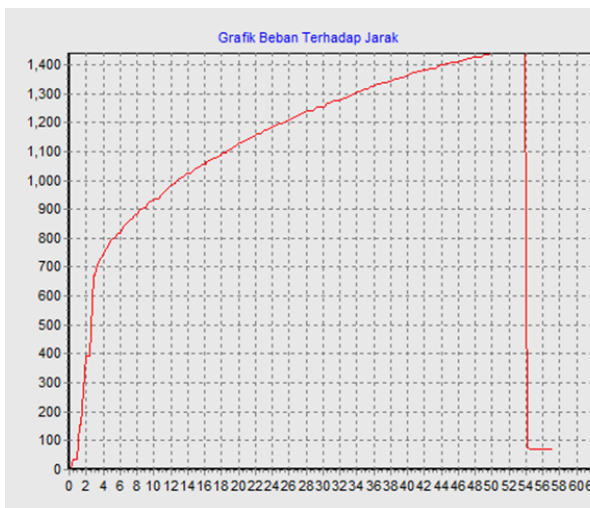
Gambar 9 menunjukkan grafik hasil uji tarik untuk spesimen sambungan las stainless steel 304 dengan arus pengelasan 115 A, yang menunjukkan karakteristik perilaku mekanik yang relatif lebih stabil dibandingkan dengan spesimen pada arus yang lebih rendah. Pada ketiga grafik, terlihat bahwa beban meningkat secara signifikan pada tahap awal pembebanan, yang menunjukkan respons elastis material.



a. Spesimen 1 – 125 A



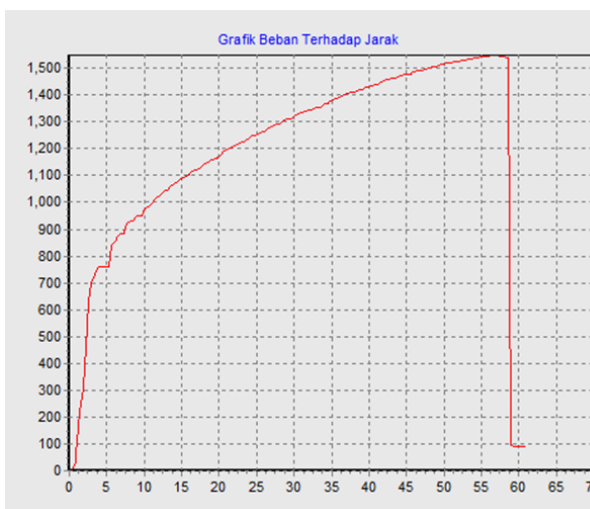
a. Spesimen 4 – 115 A



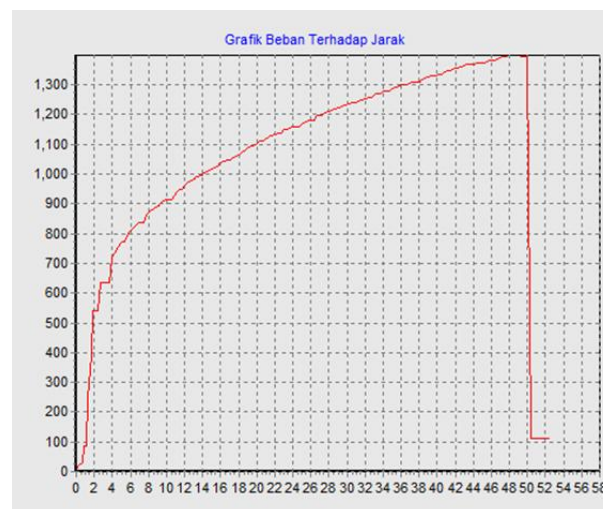
b. Spesimen 2 – 125 A



b. Spesimen 5 – 115 A



c. Spesimen 3 – 125 A



c. Spesimen 6 – 115 A

Gambar 8. Grafik beban – jarak, arus 125 A

Gambar 9. Grafik beban – jarak, arus 115 A

Setelah melewati batas elastis, kurva mengalami kemiringan yang lebih landai, menandakan terjadinya deformasi plastis hingga mencapai kondisi beban maksimum sebelum spesimen mengalami patahan. Nilai beban maksimum yang dicapai pada masing-masing spesimen berada pada kisaran yang relatif seragam, yaitu sekitar 1.45–1.50 kN, yang menunjukkan bahwa sambungan las yang dihasilkan pada arus 115 A memiliki tingkat konsistensi kekuatan yang lebih baik. Kurva yang lebih halus dan keseragaman puncak beban mengindikasikan bahwa distribusi heat input selama proses pengelasan lebih stabil, sehingga menghasilkan penetrasi las yang lebih optimal serta struktur mikro yang lebih homogen pada daerah sambungan. Panjang deformasi plastis yang cukup signifikan sebelum patah menunjukkan bahwa sambungan las masih mempertahankan perilaku ulet (*ductile behaviour*). Hal ini menandakan bahwa peningkatan arus pengelasan mampu meningkatkan kualitas ikatan metalurgi antara logam induk dan logam las. Dengan demikian, hasil uji tarik pada arus 115 A menunjukkan performa mekanik yang lebih konsisten dan lebih mendukung tercapainya kekuatan sambungan yang optimal dibandingkan dengan arus yang lebih rendah.

Pembahasan

Tabel 1 memperlihatkan hasil perhitungan tegangan maksimum (*ultimate tensile strength*, UTS) yang diperoleh dari pengujian tarik sambungan las stainless steel 304, terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan antara spesimen yang dilas menggunakan arus 115 A dan 125 A. Pada variasi arus 115 A, nilai tegangan maksimum yang diperoleh berturut-turut adalah 22.96 MPa, 27.68 MPa, dan 34.36 MPa, dengan nilai rata-rata sekitar 28.33 MPa. Sementara itu, pada variasi arus 125 A diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 42.84 MPa, 42.44 MPa, dan 43.32 MPa, dengan nilai rata-rata sekitar 42.87 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik sambungan las. Dari segi analisis, nilai tegangan maksimum pada arus 125 A tidak hanya lebih tinggi, tetapi juga menunjukkan tingkat konsistensi yang lebih baik dibandingkan dengan arus 115 A. Hal ini terlihat dari rentang variasi nilai tegangan yang relatif sempit pada arus 125 A, yang mengindikasikan kestabilan proses pengelasan dan homogenitas struktur mikro sambungan yang lebih baik. Sebaliknya, variasi nilai tegangan yang cukup besar pada arus 115 A menunjukkan bahwa heat input yang diberikan belum optimal, sehingga kualitas penetrasi dan pembentukan logam las

cenderung tidak seragam. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya cacat mikro seperti *incomplete fusion* atau distribusi tegangan yang tidak merata pada daerah sambungan. Jika dibandingkan dengan teori mekanika bahan, kekuatan tarik sambungan las umumnya dipengaruhi oleh parameter proses seperti arus, kecepatan pengelasan, serta distribusi panas selama proses peleburan. Peningkatan arus akan meningkatkan heat input, yang berperan dalam memperbaiki ikatan metalurgi antara logam induk dan logam las serta menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. Namun, secara teoritis kekuatan tarik sambungan las stainless steel 304 masih berada di bawah kekuatan tarik logam induk yang umumnya berkisar antara 515–750 MPa. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh dalam penelitian ini jauh lebih rendah dari nilai tersebut, yang menunjukkan bahwa kegagalan kemungkinan besar terjadi pada daerah sambungan atau zona terpengaruh panas akibat adanya perubahan struktur mikro dan potensi cacat hasil pengelasan.

Tabel 1. Tegangan maksimum sampel

Spesimen	Arus	Material	Tegangan maksimum (MPa)
1	115	304	22.96
2			27.68
3			34.36
4	125	304	42.84
5			42.44
6			43.32

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan beberapa studi terdahulu yang menyatakan bahwa peningkatan arus pengelasan TIG pada material stainless steel dapat meningkatkan kualitas sambungan hingga batas tertentu.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa arus yang lebih tinggi menghasilkan penetrasi yang lebih baik dan distribusi panas yang lebih merata, sehingga meningkatkan kekuatan tarik sambungan. Namun demikian, peningkatan arus yang terlalu tinggi juga berpotensi menyebabkan pembesaran butir dan distorsi termal yang dapat menurunkan sifat mekanik. Oleh karena itu, optimasi parameter arus pengelasan menjadi faktor penting dalam menghasilkan sambungan las dengan performa mekanik yang optimal.

Berdasarkan hasil analisis statistik deskriptif terhadap nilai tegangan maksimum sambungan las stainless steel 304, seperti disajikan pada Tabel 2, terlihat bahwa variasi arus pengelasan TIG

memberikan pengaruh yang nyata terhadap performa mekanik sambungan. Pada arus 115 A diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 22.96 MPa, 27.68 MPa, dan 34.36 MPa dengan nilai rata-rata sekitar 28.33 MPa. Nilai ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik sambungan yang dihasilkan pada arus tersebut relatif lebih rendah serta memiliki penyebaran data yang cukup besar.

Tabel 2. Analisis statistik deskriptif

	115 A	125 A
Mean	28.33	42.87
Standard Error	3.31	0.25
Median	27.68	42.84
Mode	#N/A	#N/A
Standard Deviation	5.73	0.44
Sample Variance	32.81	0.19
Kurtosis	#DIV/0!	#DIV/0!
Skewness	0.51	0.27
Range	11.40	0.88
Minimum	22.96	42.44
Maximum	34.36	43.32
Sum	85.00	128.60
Count	3.00	3.00
Confidence Level(95.0%)	14.23	1.09

Tabel 3. Hasil normality test

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
A115	.212	3	.	.990	3	.811
A125	.191	3	.	.997	3	.900

a. Lilliefors Significance Correction

Variasi nilai yang cukup signifikan antarspesimen mengindikasikan bahwa proses pengelasan pada arus 115 A belum menghasilkan kualitas sambungan yang konsisten, yang kemungkinan disebabkan oleh heat input yang belum optimal sehingga penetrasi dan pembentukan logam las kurang seragam. Sebaliknya, pada arus 125 A diperoleh nilai tegangan maksimum sebesar 42.84 MPa, 42.44 MPa, dan 43.32 MPa dengan nilai rata-rata sekitar 42.87 MPa. Hasil ini menunjukkan peningkatan kekuatan tarik yang cukup signifikan dibandingkan dengan arus 115 A, serta tingkat konsistensi hasil yang lebih baik. Penyebaran data yang relatif kecil pada arus 125 A menunjukkan bahwa peningkatan arus memberikan heat input yang lebih stabil, sehingga menghasilkan penetrasi las yang lebih baik dan struktur mikro sambungan yang lebih homogen. Kondisi ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas ikatan metalurgi antara logam induk dan logam las. Hasil analisis

statistik deskriptif menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan TIG dari 115 A menjadi 125 A berdampak positif terhadap karakteristik kekuatan tarik sambungan stainless steel 304. Selain meningkatkan nilai rata-rata tegangan maksimum, peningkatan arus juga memperbaiki stabilitas hasil pengelasan yang ditunjukkan oleh penyebaran data yang lebih kecil. Hal ini menegaskan bahwa parameter arus merupakan faktor penting dalam optimasi proses pengelasan TIG untuk menghasilkan sambungan dengan performa mekanik yang lebih baik dan konsisten.

Hasil uji normalitas yang disajikan pada Tabel 3 digunakan untuk memastikan bahwa data yang dianalisis memenuhi asumsi distribusi normal sebelum dilakukan analisis parametrik seperti ANOVA. Berdasarkan tabel uji normalitas, pengujian menggunakan metode Shapiro–Wilk menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0.811 untuk arus 115 A dan 0.900 untuk arus 125 A. Kedua nilai tersebut lebih besar dari taraf signifikansi yang digunakan ($\alpha = 0.05$), sehingga hipotesis nol yang menyatakan bahwa data berdistribusi normal tidak dapat ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data hasil pengujian pada kedua variasi arus pengelasan mengikuti distribusi normal dan memenuhi salah satu asumsi penting dalam analisis ANOVA. Sementara itu, hasil uji Kolmogorov–Smirnov tidak menampilkan nilai signifikansi karena jumlah sampel yang sangat kecil ($n = 3$ pada masing-masing kelompok), sehingga uji ini tidak direkomendasikan untuk interpretasi dalam kondisi tersebut. Oleh karena itu, interpretasi normalitas lebih tepat didasarkan pada uji Shapiro–Wilk yang memang lebih sensitif dan direkomendasikan untuk ukuran sampel kecil. Secara metodologis, terpenuhinya asumsi normalitas ini memperkuat validitas penggunaan analisis parametrik dalam penelitian, sehingga hasil ANOVA yang menunjukkan pengaruh signifikan variasi arus pengelasan terhadap karakteristik mekanik sambungan dapat dianggap reliabel secara statistik.

Tabel 4 memperlihatkan hasil analisis F-Test Two-Sample for Variances yang digunakan untuk menentukan apakah variansi (ketidakteraturan hasil pengelasan) antara arus 115 A dan 125 A berbeda secara signifikan. Dari data yang diperoleh, variansi pada arus 115 A sebesar 32.81, sedangkan pada arus 125 A hanya sebesar 0.19. Perbedaan ini menghasilkan nilai F hitung sebesar 169.01, yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai F kritis sebesar 19.00, serta nilai p-value sebesar 0.01 yang

lebih kecil dari taraf signifikansi 0.05. Oleh karena itu, hipotesis nol yang menyatakan bahwa kedua kelompok memiliki variansi yang sama dapat ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan variasi yang signifikan antara hasil pengelasan pada arus 115 A dan 125 A. Secara teknis dalam proses pengelasan, hasil ini menunjukkan bahwa pengelasan pada arus 115 A menghasilkan variasi hasil yang jauh lebih besar dibandingkan arus 125 A. Variansi yang tinggi pada arus 115 A mengindikasikan bahwa proses peleburan dan pembentukan kolam las kurang stabil, sehingga menghasilkan ketidakhomogenan struktur mikro serta kemungkinan terbentuknya cacat las seperti incomplete fusion atau penetrasi yang tidak konsisten. Sebaliknya, variansi yang sangat kecil pada arus 125 A menunjukkan bahwa proses pengelasan berlangsung lebih stabil dengan heat input yang lebih memadai, sehingga menghasilkan kualitas sambungan yang lebih seragam dan dapat diandalkan. Temuan ini memperkuat hasil ANOVA sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan arus pengelasan tidak hanya meningkatkan nilai sifat mekanik, tetapi juga meningkatkan konsistensi dan repeatability proses pengelasan.

Hasil uji ANOVA satu arah, seperti diperlihatkan pada Tabel 5 menunjukkan nilai F hitung sebesar 19.20 yang lebih besar dibandingkan nilai F kritis sebesar 7.71, serta nilai p-value sebesar 0.0119 yang lebih kecil dari taraf signifikansi 0.05. Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis nol yang menyatakan tidak adanya pengaruh variasi arus pengelasan terhadap karakteristik mekanik sambungan ditolak. Dengan demikian, variasi arus pengelasan TIG terbukti memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap sifat mekanik sambungan stainless steel 304. Besarnya nilai jumlah kuadrat antarkelompok (SS between = 316.83) dibandingkan dengan jumlah kuadrat dalam kelompok (SS within = 66.01) menunjukkan bahwa perbedaan performa mekanik lebih dominan disebabkan oleh variasi parameter arus dibandingkan dengan variasi eksperimen atau kesalahan pengukuran.

Tabel 4. F-Test Two-Sample for Variances

	115 A	125 A
Mean	28.33	42.87
Variance	32.81	0.19
Observations	3.00	3.00
df	2.00	2.00
F	169.01	
P(F<=f) one-tail	0.01	
F Critical one-tail	19.00	

Tabel 5. ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	316.83	1.00	316.83	19.20	0.01	7.71
Within Groups	66.01	4.00	16.50			
Total	382.84	5.00				

Analisis ketidakpastian pengukuran juga memperkuat hasil ANOVA yang diperoleh. Standar deviasi pada arus 115 A sebesar 5.73 dengan standar error 3.31 menghasilkan rentang interval kepercayaan 95% yang cukup lebar, yaitu antara 14.09 hingga 42.57. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan pada arus tersebut memiliki stabilitas yang rendah dan kemungkinan dipengaruhi oleh fluktuasi heat input serta ketidakhomogenan pembentukan kolam las. Sebaliknya, pada arus 125 A diperoleh standar deviasi yang jauh lebih kecil, yaitu 0.44 dengan standar error 0.25, serta interval kepercayaan 95% yang sempit antara 41.79 dan 43.95. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pengelasan pada arus yang lebih tinggi menghasilkan kestabilan proses yang lebih baik, sehingga meningkatkan konsistensi dan reliabilitas hasil pengujian mekanik. Peningkatan arus pengelasan meningkatkan energi panas yang masuk ke dalam material sehingga memperbaiki proses difusi dan ikatan metalurgi antara logam induk dan logam las. Heat input yang lebih tinggi memungkinkan terbentuknya penetrasi las yang lebih dalam, zona fusi yang lebih homogen, serta distribusi struktur mikro yang lebih seragam. Sebaliknya, arus yang lebih rendah berpotensi menghasilkan penetrasi yang tidak optimal, laju pendinginan yang tidak seragam, serta kemungkinan terbentuknya cacat mikro seperti incomplete fusion atau porositas yang dapat menurunkan performa mekanik sambungan. Oleh karena itu, optimasi parameter arus pengelasan merupakan faktor kunci dalam meningkatkan kualitas sambungan las, baik dari segi kekuatan mekanik maupun kestabilan hasil proses.

Implikasi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter arus pengelasan TIG memiliki peran yang sangat signifikan dalam menentukan kualitas mekanik sambungan stainless steel 304, khususnya terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan. Peningkatan arus dari 115 A menjadi 125 A terbukti mampu meningkatkan nilai tegangan maksimum sekaligus memperbaiki konsistensi hasil pengelasan. Hal ini mengindikasikan bahwa optimasi heat input selama proses pengelasan merupakan faktor kunci dalam menghasilkan ikatan metalurgi yang lebih baik, penetrasi las yang optimal, serta distribusi struktur mikro yang lebih

homogen pada daerah sambungan. Dari sudut pandang praktis, hasil penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa penggunaan arus pengelasan yang lebih tinggi dalam rentang yang sesuai dapat meningkatkan keandalan sambungan las stainless steel 304 pada aplikasi industri yang memerlukan kekuatan mekanik yang baik. Selain itu, peningkatan stabilitas hasil pengelasan pada arus yang lebih tinggi juga menunjukkan potensi peningkatan efisiensi proses produksi karena dapat mengurangi variasi kualitas dan risiko kegagalan sambungan. Secara ilmiah, temuan ini menegaskan pentingnya pengendalian parameter proses pengelasan dalam desain manufaktur berbasis material stainless steel, serta membuka peluang penelitian lanjutan terkait pengaruh parameter lain seperti kecepatan pengelasan, jenis gas pelindung, dan karakterisasi mikrostruktur untuk memperoleh optimasi kualitas sambungan yang lebih komprehensif.

Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental dan statistik yang terintegrasi terhadap pengaruh variasi arus pengelasan TIG pada sambungan stainless steel 304, dengan fokus pada karakteristik kekuatan tarik yang dianalisis menggunakan pendekatan statistik seperti analisis deskriptif, uji normalitas, uji homogenitas varians, serta ANOVA. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya meninjau pengaruh parameter pengelasan secara kualitatif atau terbatas pada analisis mekanik sederhana, penelitian ini memberikan pendekatan kuantitatif yang lebih sistematis dalam menilai konsistensi dan signifikansi pengaruh arus terhadap performa sambungan las. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyediaan data eksperimental yang menunjukkan hubungan langsung antara peningkatan arus pengelasan dan peningkatan kekuatan tarik serta stabilitas hasil pengelasan, sehingga dapat menjadi referensi dalam optimasi parameter proses pengelasan TIG pada material stainless steel 304. Selain itu, hasil penelitian ini juga memperkuat pemahaman mengenai pentingnya pengendalian heat input dalam meningkatkan kualitas sambungan las, yang relevan untuk aplikasi industri manufaktur dan konstruksi berbasis material tahan karat.

KESIMPULAN

Implikasi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter arus pengelasan TIG memiliki peran yang sangat signifikan dalam menentukan kualitas mekanik sambungan stainless steel 304, khususnya terhadap kekuatan tarik yang dihasilkan.

Peningkatan arus dari 115 A menjadi 125 A terbukti mampu meningkatkan nilai tegangan maksimum sekaligus memperbaiki konsistensi hasil pengelasan. Hal ini mengindikasikan bahwa optimasi heat input selama proses pengelasan merupakan faktor kunci dalam menghasilkan ikatan metalurgi yang lebih baik, penetrasi las yang optimal, serta distribusi struktur mikro yang lebih homogen pada daerah sambungan. Hasil penelitian ini memberikan rekomendasi bahwa penggunaan arus pengelasan yang lebih tinggi dalam rentang yang sesuai dapat meningkatkan keandalan sambungan las stainless steel 304 pada aplikasi industri yang memerlukan kekuatan mekanik yang baik. Selain itu, peningkatan stabilitas hasil pengelasan pada arus yang lebih tinggi juga menunjukkan potensi peningkatan efisiensi proses produksi karena dapat mengurangi variasi kualitas dan risiko kegagalan sambungan. Secara ilmiah, temuan ini menegaskan pentingnya pengendalian parameter proses pengelasan dalam desain manufaktur berbasis material stainless steel, serta membuka peluang penelitian lanjutan terkait pengaruh parameter lain seperti kecepatan pengelasan, jenis gas pelindung, dan karakterisasi mikrostruktur untuk memperoleh optimasi kualitas sambungan yang lebih komprehensif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Hasyim Asy'ari atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ketersediaan sarana laboratorium, peralatan pengujian, serta lingkungan akademik yang kondusif sangat membantu dalam proses pelaksanaan eksperimen, pengolahan data, hingga penyusunan hasil penelitian. Dukungan institusi ini menjadi faktor penting dalam keberhasilan penelitian serta pengembangan kegiatan ilmiah di bidang teknik dan material.

KONTRIBUSI PENULIS

Dian Anisa Rokhmah Wati berperan dalam perumusan konsep penelitian serta pengawasan keseluruhan pelaksanaan penelitian. Muhammad Alfian Rifqi Maulan bertanggung jawab atas pelaksanaan pengukuran dan pengujian eksperimen. Toto Supriyono berkontribusi dalam melakukan analisis statistik terhadap data hasil penelitian. Sementara itu, Muhammad Fahrur Rozi berperan dalam proses pengumpulan data selama kegiatan penelitian berlangsung. Seluruh penulis berkontribusi dalam penyusunan dan penyempurnaan naskah akhir penelitian.

REFERENSI

- [1] M. Lasno, H. Purwanto, M. Dzulfikar, Pengaruh variasi arus pengelasan TIG terhadap sifat fisik dan mekanik pada stainless steel hollow 304, *Momentum* 15 (2019) 137–143. <https://doi.org/https://doi.org/10.36499/jim.v15i2.3079>.
- [2] B. Margono, E. Suryono, P.H. Sudargo, A. Fatah, Optimasi pengelasan disimilar metal SS304 dan mild steel untuk meminimalkan efek distorsi, *Teknika* 8 (2023) 19–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.52561/teknika.v8i2.285>.
- [3] F. Banjarnahor, A.H. Siregar, M. Sabri, Indra, Mahadi, Studi pengelasan TIG terhadap kekuatan sambungan dan sifat mekanik pada baja AISI 1045, *J. Din.* 7 (2019) 48–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.32734/dinamis.v7i2.7190>.
- [4] F. Sundari, V. Naubnome, Kardiman, Pengaruh arus pada sambungan las terhadap sifat mekanik SS304 dengan media pendingin coolant menggunakan las MIG, *Momentum* 18 (2022) 86–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.36499/jim.v18i2.6710>.
- [5] A.H. Laksana, C. Upendra, S. Bandha, K. Himawan, M. Astono, Pengaruh Variasi Arus Listrik terhadap Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan SMAW pada Stainless Steel 304 Menggunakan Elektroda E308, *SINERGI* 21 (2023) 320–327. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31963/sinergi.v21i2.4176> Pengaruh.
- [6] Wartono, Aprianto, Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Butt-Joint Las TIG Aluminium, *J. Engine Energi, Manufaktur, Dan Mater.* 5 (2021) 24–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.30588/jecemm.v5i1.848>.
- [7] M.I.R. Yuniarto, H. Pratikno, M. Chamelia, A.B. Karbon, Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik, *J. Tek. ITS* 8 (2019) G243.
- [8] A.A.T. Panjalu, A. Windyandari, Studi Perbandingan Arus Pengelasan FCAW Pada Sambungan Stainless Steel 304 dengan Baja ASTM A36 Uji Tekuk, Uji Tarik, dan Uji Mikrostruktur, *J. Appl. Mech. Technol.* 4 (2025) 110–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.31884/journalofappliedmechanicaltechnology.v4i2.310>.
- [9] Haikal, M. Chamim, E. Suryono, F.N. Hidayah, Triyono, Pengaruh parameter pengelasan resistance spot welding terhadap sifat fisik dan mekanik multi-layer logam tak sejenis berbeda ketebalan, *Mach. J. Tek. Mesin* 7 (2021) 16–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.33019/jm.v7i1.1661>.
- [10] M. Alfian, R. Maulana, D. Anisa, R. Wati, F. Satriya, U. Hasyim, Pengaruh Variasi Arus Pada Hasil Pengelasan TIG (Tungsten Inert Gas) Terhadap Kekuatan Tarik Plat Stainless Steel 316, *J. Penelit. Multidisiplin Bangsa* 2 (2025) 254–262. <https://doi.org/https://doi.org/10.59837/jpnmb.v2i2.484>.
- [11] Noviansyah, Asmadi, R. Afriany, T. Husni, Analisa perbandingan las TIG dan las SMAW terhadap kekuatan tarik dan kekerasan stainless steel 304, *Tek. J. Tek.* 8 (2016) 189–200. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35449/teknika.v8i2.193>.
- [12] Sekiwa, A. Suprpto, D.I. Tsamroh, Rusdijanto, Analisis tegangan dan regangan pada kawat stainless steel 304 hasil perlakuan hardening dan tempering, *Ring Mech. Eng. (RING ME)* 4 (2024) 33–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.33474/rm.v4i1.21747>.
- [13] I.P.A. Assagaf, A.B. Prasetyo, N.W. Pasolang, Pengaruh variasi temperatur pre-heat pada pengelasan resistance spot welding terhadap sifat mekanik stainless steel AISI 304, *Majemcha* 6 (2024) 335–345. <https://doi.org/https://doi.org/10.36815/majamecha.v6i2.3538>.
- [14] Admin, SUOFEILAIMU 10pcs WT20 Tungsten Electrode Tungsten Tig Needle/Rod for Tig Welding Machine/Spot Welding 150mm Red Tip Tig Rods (Diameter : 2.0mm), Amazon.Com (2025) 1. <https://www.amazon.com/MKSIWSA-SUOFEILAIMU-Tungsten-Electrode-Diameter/dp/B09Y3DC8YV?th=1>.
- [15] A.A. Kardak, G.B. Sinchair, Stress Concentration Factors for ASTM E8/E8M-16a Standard Round Specimens for Tension Testing, *Astm.Org* (2025) 1. <https://doi.org/https://doi.org/10.1520/JTE20190549>.
- [16] A. Widodo, M.N. Ilman, Pengaruh frekuensi getaran terhadap sifat fisi dan mekanik pada sambungan las MIG aluminum paduan AA 6061-T6, *Rekayasa Mesin* 13 (2022) 171–178. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2022.013.01.17> Received.
- [17] A.S. Siregar, Analisis simulasi karakteristik grip pada alat uji tarik komposit beban maksimal 5 kN, *J. Tek. Mesin* 3 (2021) 42–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.32493/jiptek.v3i1.24711>.

- [18] T. Supriyono, M. Ramandani, H. Soemantri, Others, B. Perjuangan Karawang, J. Waluyu Sirnabaya Teluk Jambe Timur Karawang, Others, Uji Performansi Solar Panel Kapasitas 100 WP, *J. Tek. Mesin Mech. Xplore 2* (2022) 35–48. <https://doi.org/10.36805/jtmmx.v2i2.2172>.
- [19] T. Supriyono, G. Omar, N. Tamaldin, H. Sonawan, M.R. Sumartono, M.S. Kasim, Fabrication of a Working Fluid Filler for Cooling Photovoltaic Module, *Pros. SNTTM XXI 2023* (2023) 611–618. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12608217>.
- [20] T. Supriyono, G. Omar, N. Tamaldin, P. Soetikno, M.R. Sumartono, A. Romano, M. Yamin, Performance comparison of monocrystalline and polycrystalline photovoltaic modules before testing with a cooling system, *Cogent Eng.* 11 (2024). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2430426>.
- [21] V.S. Yudha, T. Supriyono, Y.R. Ferdiansyah, F. Mardawan, R.F. Al Munawar, Kalibrasi dan analisis ketidakpastian pengukuran sensor temperatur DHT22 menggunakan termometer digital terkalibrasi sebagai alat referensi, *KOLECER Sci. J. Mech. Eng.* 1 (2025) 100–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.23969/ksjme.v1i2.39427>.
- [22] T. Supriyono, G. Omar, N. Tamaldin, B. Ariantara, M. Yamin, M.R. Sumartono, D.A.R. Wati, Investigation of Operating Temperature as a Key Factor in Determining Photovoltaic Module Cooling Specifications, *J. Phys. Conf. Ser.* 2972 (2025 (2025) 012–019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2972/1/012019>.