

Analisis Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Dan Pola Gerakan Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las SMAW Pada Baja ST-37

Muhammad Nabiil Hadiyyatullah¹, Kosjoko², Nely Ana Mufarida^{3*}

1 Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : escanorban27990@gmail.com

2 Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : kosjoko@unmuhjember.ac.id

3 Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember; email : nelyana@unmuhjember.ac.id

* Penulis Korespondensi : Nely Ana Mufarida Email : nelyana@unmuhjember.ac.id

Abstract: This study aims to analyze the effect of welding current variations (80 A, 100 A, and 120 A) and electrode movement pattern variations (straight, zig-zag, and semi-circular) on the tensile strength and microstructure of SMAW welded joints on ST-37 steel using E6013 electrodes with a single V-groove butt joint configuration (60°). Tensile testing and microstructural examination of the Heat Affected Zone (HAZ) were conducted across 9 parameter combinations. Tensile test results showed that the zig-zag pattern at 80 A produced the highest tensile strength of 29 MPa with 120% elongation, while the straight pattern at 80 A yielded the lowest value of 24.8 MPa with 30% elongation. Microstructural analysis revealed that all specimens exhibited a ferrite-pearlite structure typical of low-carbon steel, with dominant ferrite (81–95%) and pearlite (5–19%), where the best ferrite composition (95%) was obtained from the straight pattern at 100 A and the semi-circular pattern at 80 A. This study concludes that variations in welding current and electrode movement pattern significantly affect the tensile strength and microstructure of SMAW welded joints, with the optimum combination achieved using the zig-zag pattern at 80 A.

Keywords: Current Variation; Electrode Movement Pattern; SMAW Welding; Tensile Test; Microstructural Examination.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan (80 A, 100 A, dan 120 A) dan variasi pola gerakan elektroda (lurus, zig-zag, dan setengah lingkaran) terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las SMAW pada baja ST-37 menggunakan elektroda E6013 dengan konfigurasi single V-groove butt joint (60°). Pengujian dilakukan melalui uji tarik dan uji mikrostruktur pada daerah HAZ dari 9 kombinasi parameter. Hasil uji tarik menunjukkan kombinasi pola zig-zag dengan arus 80 A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi 29 MPa (regangan 120%), sementara pola lurus 80 A memberikan nilai terendah 24,8 MPa (30%). Seluruh spesimen memiliki struktur ferit-perlit dengan ferit dominan (81–95%) dan komposisi ferit terbaik (95%) pada pola lurus 100 A dan setengah lingkaran 80 A. Kombinasi optimum diperoleh pada pola zig-zag arus 80 A.

Kata kunci: Variasi Arus; Pola Gerakan Elektroda; Las SMAW; Uji Tarik; Uji Mikrostruktur.

Diterima: February 04, 2026
Direvisi: February 22, 2026
Diterima: February 24, 2026
Diterbitkan: March 2, 2026
Versi sekarang: March 2, 2026



Hak cipta: © 2026 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons
Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang paling luas penerapannya dalam bidang industri manufaktur, konstruksi, serta permesinan. Di antara berbagai metode yang umum digunakan, Shielded Metal Arc Welding (SMAW) menonjol karena kesederhanaannya, kemudahan pengoperasian, serta kemampuannya untuk diaplikasikan pada beragam jenis material logam, seperti baja karbon rendah ST-37 [1]. Kualitas sambungan las dipengaruhi secara signifikan oleh berbagai parameter proses

pengelasan, meliputi besar arus listrik, tipe elektroda, laju pergerakan elektroda, serta pola ayunan elektroda. Penggunaan arus dengan intensitas rendah dapat mengakibatkan kedalaman penetrasi yang tidak optimal, sementara arus berlebih berpotensi menimbulkan berbagai cacat seperti undercut dan porositas [2]. Di samping itu, variasi teknik pengayunan elektroda turut memberikan kontribusi terhadap karakteristik geometri dan sifat mekanis hasil pengelasan.

Dalam industri manufaktur dan konstruksi Indonesia, khususnya sektor usaha kecil dan menengah, penggunaan baja ST-37 yang dilas dengan metode SMAW dan elektroda E6013 telah menjadi praktik standar untuk aplikasi struktural general-purpose seperti gerbang, kanopi, dan elemen konstruksi logam lainnya. Namun, penetapan parameter kritis seperti arus listrik dan teknik weaving elektroda masih sering bergantung pada estimasi subjektif operator dengan minim dukungan data eksperimental tervalidasi. Ketiadaan standarisasi berbasis bukti ini menyebabkan inkonsistensi kualitas sambungan las, yang termanifestasi dalam degradasi properti mekanis dan kemunculan cacat seperti undercut, porositas, serta incomplete fusion. Kondisi ini mengimplikasikan risiko kegagalan prematur komponen struktural dengan konsekuensi serius terhadap keselamatan operasional dan kerugian ekonomis.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa penelitian terdahulu masih mengeksplorasi pengaruh parameter pengelasan secara parsial. Chairul & Nurdin (2022) menganalisis korelasi arus dengan kekuatan tarik pada elektroda E7018, sedangkan Badia et al. (2021) mengevaluasi dampak variasi pola weaving terhadap sifat mekanis [3]. Meskipun demikian, studi yang mengintegrasikan kedua variabel arus dan teknik manipulasi elektroda—dalam desain eksperimental sistematis masih sangat terbatas, terutama untuk kombinasi baja ST-37 dan elektroda E6013 yang dominan dalam praktik industri domestik. Oleh karena itu, diperlukan investigasi sistematis untuk mengidentifikasi kombinasi parameter optimal yang dapat meningkatkan konsistensi kualitas dan mereduksi risiko kegagalan struktural.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan dan variasi pola gerakan elektroda terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada material baja ST-37, serta menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan kekuatan tarik optimum. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyediakan data referensi bagi praktisi industri, meningkatkan kualitas sambungan las pada baja karbon rendah, serta memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan penelitian lanjutan dalam bidang teknologi pengelasan.

2. Tinjauan Literatur

2.1 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau yang dikenal sebagai pengelasan busur listrik manual merupakan metode penyambungan logam yang menggunakan elektroda terbungkus (coated electrode) sebagai bahan tambah dan sumber busur listrik. Prinsip kerja proses ini dimulai ketika busur listrik terbentuk di antara elektroda dan benda kerja, menghasilkan panas tinggi yang menyebabkan material dasar (base metal) dan inti elektroda mencair secara bersamaan, kemudian membentuk logam lasan (weld metal) (Sihombing et al., 2022). Lapisan fluks (flux coating) pada elektroda berfungsi sebagai pelindung daerah lasan dari kontaminasi atmosfer, khususnya oksigen dan nitrogen, serta menghasilkan terak (slag) yang perlu dihilangkan setelah proses pendinginan berlangsung. Perkembangan teknologi pengelasan memiliki peran yang esensial dan tidak dapat dipisahkan dari kemajuan industri konstruksi modern (Chairul & Nurdin, 2022).

2.2 Material Baja ST-37

Baja ST-37 merupakan salah satu designasi material baja karbon rendah berdasarkan standar DIN (Deutsches Institut für Normung) yang ekuivalen dengan kategori baja struktural mild steel. Material ini memiliki aplikasi yang luas dalam industri konstruksi karena beberapa keunggulan, antara lain ketersediaan di pasaran yang melimpah, sifat mampu las (weldability) yang baik, serta harga yang relatif ekonomis (Nasution, 2023). Baja karbon rendah kategori ini sering digunakan sebagai material pelat untuk berbagai komponen struktur baja, seperti konstruksi kanopi, pagar, dan rangka atap. Komponen-komponen struktural tersebut umumnya disambung melalui proses pengelasan untuk membentuk kesatuan konstruksi yang utuh sesuai dengan kebutuhan desain (Surahman et al., 2023).

Komposisi kimia baja ST-37 (Surahman et al., 2023):

Karbon (C): 0,17%

Silikon (Si): 0,30%

Mangan (Mn): 0,30%

Fosfor (P): 0,045%

Sulfur (S): 0,045%

Nitrogen (N): 0,009%

Tembaga (Cu): 0,55%

2.3 Pengaruh Arus Pengelasan

Besaran arus pengelasan yang optimal ditentukan oleh beberapa faktor, meliputi jenis dan dimensi material yang akan dilas, geometri sambungan (joint geometry), posisi pengelasan, tipe elektroda yang digunakan, serta diameter inti elektroda (Variasi et al., 2021). Terdapat hubungan proporsional antara intensitas arus dengan kedalaman penetrasi dan laju pencairan logam, di mana peningkatan arus akan menghasilkan penetrasi yang lebih dalam serta kecepatan pencairan yang lebih tinggi (Ismy et al., n.d.). Penggunaan arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan transfer logam cair dari ujung elektroda menjadi tidak optimal dan mengakibatkan ketidakstabilan busur listrik.

Pengaruh variasi arus terhadap proses dan karakteristik hasil pengelasan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Nasution, 2023):

Arus rendah (80 A): menghasilkan penetrasi yang dangkal dengan lebar rigi-rigi las yang sempit, serta berpotensi menimbulkan cacat lack of fusion apabila kecepatan pengelasan (travel speed) tidak dikontrol dengan tepat.

Arus sedang (100 A): memberikan keseimbangan optimal antara kedalaman penetrasi dan kemudahan kontrol pembentukan rigi-rigi las.

Arus tinggi (120 A): menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dengan lebar rigi-rigi las yang lebih besar dan profil yang lebih konveks (cembung).

2.4 Elektroda Las E6013

Elektroda pengelasan merupakan komponen berbentuk batang atau kawat logam yang berfungsi sebagai media penyambungan material logam melalui proses pengelasan. Elektroda yang diaplikasikan dalam pengelasan SMAW berupa kawat inti (core wire) yang dilapisi dengan bahan pelindung fluks (flux coating) (Rifaldi et al., 2021). Elektroda ini memiliki dua fungsi utama, yaitu sebagai penghantar arus listrik (electrical conductor) dan sumber logam pengisi (filler metal) pada daerah sambungan.

Elektroda E6013 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter 2,6 mm. Komposisi kawat inti (Chairul & Nurdin, 2022):

Besi (Fe): 97%

Karbon (C): 0,06%

Mangan (Mn): 0,30%

Silikon (Si): 0,05%

Belerang (S): 0,035%

Fosfor (P): 0,035%

Komposisi flux elektroda (Chairul & Nurdin, 2022):

Rutil (Titanium Oksida/TiO₂): 25-24%

Kalsium Karbonat: 15-30%

Kalium Silikat: 5-10%

Fero-Mangan: 5-10%

Fero-Silikon: 2-5%

Selulosa: 1-5%

Serbuk Besi: 0-10%

2.5 Variasi Gerakan Elektroda

Pola gerakan elektroda merupakan teknik manipulasi ujung elektroda oleh operator selama proses pengelasan berlangsung, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap profil rigi-rigi las (bead profile), kedalaman penetrasi, distribusi termal, serta volume deposisi logam las (Rahmatika et al., 2021). Penerapan teknik gerakan elektroda yang tepat bertujuan untuk

menghasilkan deposisi logam las dengan permukaan yang rata dan halus, sekaligus meminimalkan cacat pengelasan seperti undercut dan inklusi terak (slag inclusion) (Badia et al., 2021).

2.5.1 Gerakan Lurus (*Straight/Drag Technique*)

Teknik ini dilakukan dengan menggerakkan elektroda secara linear mengikuti garis lasan, umumnya dengan sudut kemiringan sedikit ke belakang (drag angle) atau ke depan (push angle) (Arief et al., 2023). Metode ini menghasilkan rigi-rigi las yang sempit dengan penetrasi yang lebih dalam dan terfokus apabila kecepatan pengelasan dikontrol dengan tepat. Keunggulan teknik ini meliputi efisiensi waktu yang tinggi, konsumsi logam pengisi yang ekonomis, serta kemudahan dalam pengontrolan. Namun, pada sambungan dengan celah yang lebar atau terdapat ketidaksejajaran, teknik ini berpotensi menghasilkan cacat lack of fill atau porositas (Rifaldi et al., 2021).

2.5.2 Gerakan Zig-Zag (*Weave/Side-to-Side Zigzag*)

Teknik ini menggunakan pola gerakan lateral secara repetitif membentuk zigzag sepanjang jalur lasan. Karakteristik utama teknik ini adalah peningkatan lebar rigi-rigi las dan volume pengisian, kemampuan menutup celah yang besar, serta distribusi panas yang lebih homogen (Ismy et al., n.d.). Keunggulan metode ini sangat sesuai untuk sambungan tipe V-groove, meningkatkan fusi pada tepi sambungan (sidewall fusion), serta konsolidasi logam las yang lebih baik. Keterbatasan teknik ini adalah apabila amplitudo ayunan terlalu besar dapat menyebabkan penumpukan logam las yang berlebihan, distribusi terak yang tidak merata, atau penurunan penetrasi rata-rata (Surahman et al., 2023).

2.5.3 Gerakan Setengah Lingkaran (*Semi-Circular/Crescent Weave*)

Teknik ini menerapkan pola gerakan berbentuk busur atau setengah lingkaran secara berulang sepanjang jalur pengelasan. Karakteristiknya serupa dengan teknik zigzag namun dengan transisi gerakan yang lebih halus, memberikan kontrol yang optimal terhadap ketinggian rigi-rigi las (bead crown) dan volume pengisian (Badia et al., 2021). Keunggulan metode ini mencakup distribusi termal yang baik dan estetika permukaan las yang superior, serta sering diaplikasikan pada root pass atau fill pass untuk mengontrol penetrasi secara presisi. Keterbatasan teknik ini terletak pada kebutuhan keterampilan operator yang tinggi untuk mempertahankan konsistensi pola, serta risiko penurunan penetrasi jika amplitudo gerakan terlalu lebar.

2.6 Uji Tarik (*Tensile Test*)

Pengujian tarik merupakan metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik sifat tarik suatu material atau sambungan las, meliputi kekuatan luluh (yield strength), kekuatan tarik maksimum (ultimate tensile strength/UTS), perpanjangan (elongation), serta modulus elastisitas (elastic modulus) (Dengan et al., 2022). Prosedur pengujian ini dilaksanakan dengan mengaplikasikan gaya tarik yang berlawanan arah pada spesimen uji, di mana kedua gaya tersebut bekerja menjauhi titik pusat spesimen secara aksial. Pengujian tarik diimplementasikan untuk mengkarakterisasi sifat-sifat mekanis material, khususnya dalam mengevaluasi respons material terhadap beban tarik hingga terjadi kegagalan (failure) (Mikro, 2022).

2.7 Struktur Mikro Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah seperti ST-37 memiliki struktur mikro yang terdiri dari fasa ferit dan perlit. Ferit merupakan fasa besi murni yang lunak dan ulet dengan struktur kristal, sedangkan perlit merupakan struktur eutektoid yang terdiri dari lapisan-lapisan ferit dan sementit (Fe_3C). Perlit halus terbentuk melalui pendinginan cepat dan cenderung lebih keras, sedangkan perlit kasar terbentuk dari pendinginan lambat dan cenderung lebih lunak. Semakin banyak kandungan perlit (dan karbon), baja menjadi semakin keras dan kuat, namun keuletannya berkurang. Pada daerah HAZ (Heat Affected Zone), variasi arus dan pola gerakan elektroda memengaruhi laju pendinginan yang pada akhirnya menentukan komposisi dan distribusi fasa ferit dan perlit.

3. Metode

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium. Pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui proses pengelasan, pembuatan spesimen, serta pengujian mekanik dan metalografi dengan memanfaatkan peralatan dan fasilitas yang tersedia di laboratorium.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 6 Januari 2026 hingga 12 Januari 2026. Proses pengelasan dan pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember, sedangkan pengujian tarik dilaksanakan di Politeknik Negeri Malang.

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Plat Baja ST-37 dengan ketebalan 5 mm. Baja ST-37 merupakan baja karbon rendah dengan komposisi kimia sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja ST-37

Komponen Unsur	Kandungan (%)
Karbon (C)	0,17
Silikon (Si)	0,30
Mangan (Mn)	0,30
Fosfor (P)	0,045
Sulfur (S)	0,045
Nitrogen (N)	0,009
Tembaga (Cu)	0,55

- b. Elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm. Elektroda ini memiliki komposisi kawat inti dan flux seperti disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Kawat Inti dan Flux Elektroda E6013

Komponen Kawat Inti	Kandungan (%)	Komponen Flux	Kandungan (%)
Besi (Fe)	97	Rutil (TiO ₂)	24-25
Karbon (C)	0,06	Kalsium Karbonat	15-30
Mangan (Mn)	0,30	Kalium Silikat	5-10
Silikon (Si)	0,05	Fero-Mangan	5-10
Belerang (S)	0,035	Fero-Silikon	2-5
Fosfor (P)	0,035	Selulosa	1-5
		Serbuk Besi	0-10

3.4 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Mesin las SMAW untuk proses pengelasan spesimen uji.
- Mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) untuk mengukur kekuatan tarik sambungan las.
- Gerinda untuk persiapan kampuh dan pembersihan hasil lasan.
- Palu untuk pembersihan terak (slag) setelah pengelasan.
- Alat ukur (jangka sorong/mistar) untuk pengukuran dimensi spesimen.
- Mikroskop digital dengan perbesaran 1000× untuk pengujian mikrostruktur.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan sebagai berikut:

3.5.1 Variabel Bebas (*Independent Variable*)

- Arus pengelasan dengan tiga tingkat variasi: 80 A, 100 A, dan 120 A.
- Pola gerakan elektroda dengan tiga teknik: gerakan lurus (straight), gerakan zig-zag (zigzag weave), dan gerakan setengah lingkaran (semi-circular weave).

3.5.2 Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Kekuatan tarik (tensile strength) sambungan las, yang diukur melalui pengujian tarik (MPa).

3.5.3 Variabel Kontrol (*Control Variable*)

- Tipe elektroda: E6013 (diameter 2,6 mm)
- Jenis material: Baja karbon rendah ST-37 (tebal 5 mm)
- Konfigurasi sambungan: Single V-groove butt joint dengan sudut kampuh 60°

3.6 Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen faktorial lengkap 3×3 , yang menghasilkan 9 kombinasi parameter seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Setiap kombinasi parameter dibuat spesimen uji untuk pengujian tarik dan uji mikrostruktur.

Tabel 3. Matriks Kombinasi Parameter Penelitian

Kode Spesimen	Pola Gerakan Elektroda	Arus Pengelasan (A)
L-80	Lurus	80
L-100	Lurus	100
L-120	Lurus	120
Z-80	Zig-Zag	80
Z-100	Zig-Zag	100
Z-120	Zig-Zag	120
SL-80	Setengah Lingkaran	80
SL-100	Setengah Lingkaran	100
SL-120	Setengah Lingkaran	120

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Persiapan Spesimen

Plat baja ST-37 dengan ketebalan 5 mm dipotong sesuai dimensi yang diperlukan. Dilakukan pembuatan kampuh berbentuk single V-groove dengan sudut 60° pada kedua sisi plat yang akan disambung. Pemilihan sudut 60° bertujuan untuk mengakomodasi implementasi teknik weaving elektroda (zig-zag dan setengah lingkaran) yang membutuhkan ruang operasional lebih luas dibandingkan sambungan tanpa preparasi kampuh.

3.7.2 Proses Pengelasan

- Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW dengan elektroda E6013 diameter 2,6 mm.
- Parameter arus divariasikan pada 80 A, 100 A, dan 120 A sesuai matriks eksperimen.
- Pola gerakan elektroda diaplikasikan sesuai tiga variasi: lurus, zig-zag, dan setengah lingkaran.
- Setelah pengelasan selesai, terak (slag) dibersihkan menggunakan palu dan sikat kawat.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

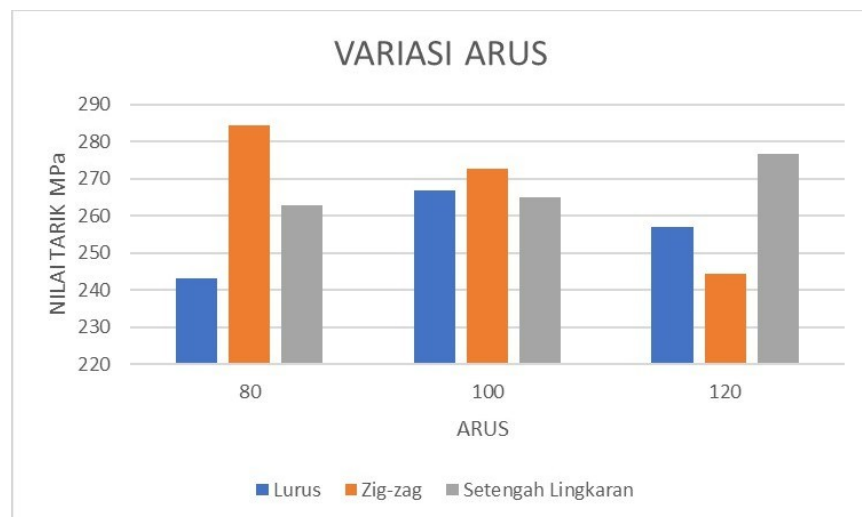
Penelitian ini menggunakan plat baja ST-37 dengan ketebalan 5 mm yang dilas menggunakan metode SMAW (Shielded Metal Arc Welding) dengan variasi arus (80 A, 100 A, 120 A) dan variasi pola gerakan elektroda (lurus, zig-zag, setengah lingkaran). Konfigurasi sambungan yang digunakan adalah single V-groove butt joint dengan sudut kampuh 60° . Pembuatan spesimen dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember, sedangkan pengujian tarik dilaksanakan di Politeknik Negeri Malang dan pengujian mikrostruktur menggunakan mikroskop digital perbesaran $1000\times$.

4.2 Uji Tarik

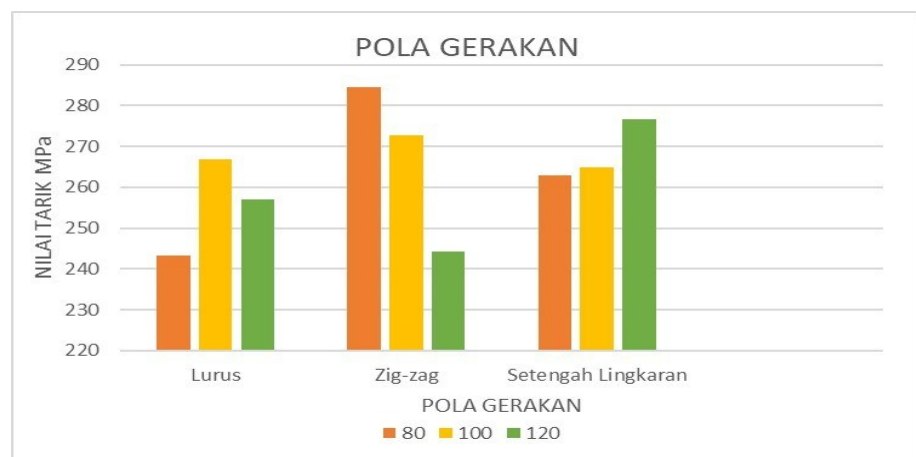
Pengujian tarik dilakukan pada 9 spesimen dengan kombinasi variasi arus dan pola gerakan elektroda yang berbeda. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.



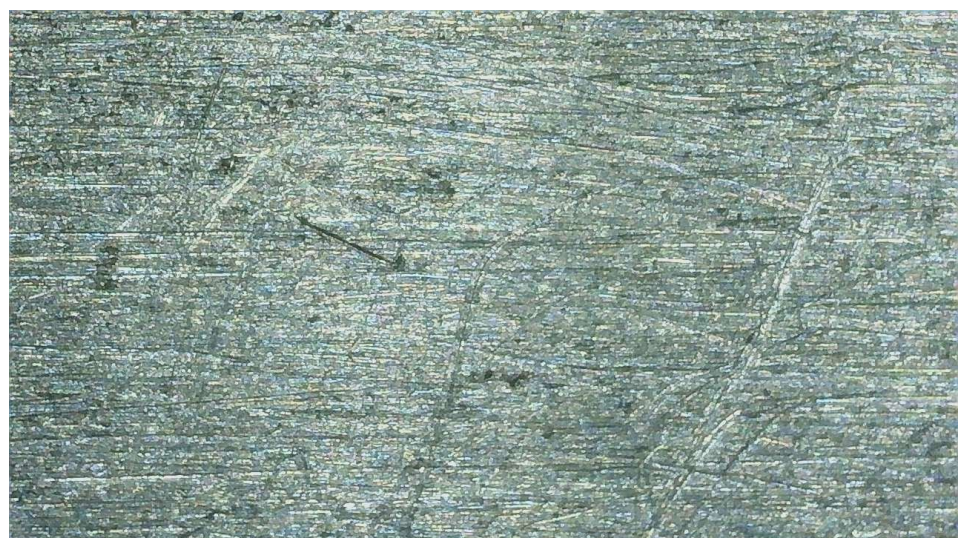
Gambar 4.1 Hasil Uji Tarik



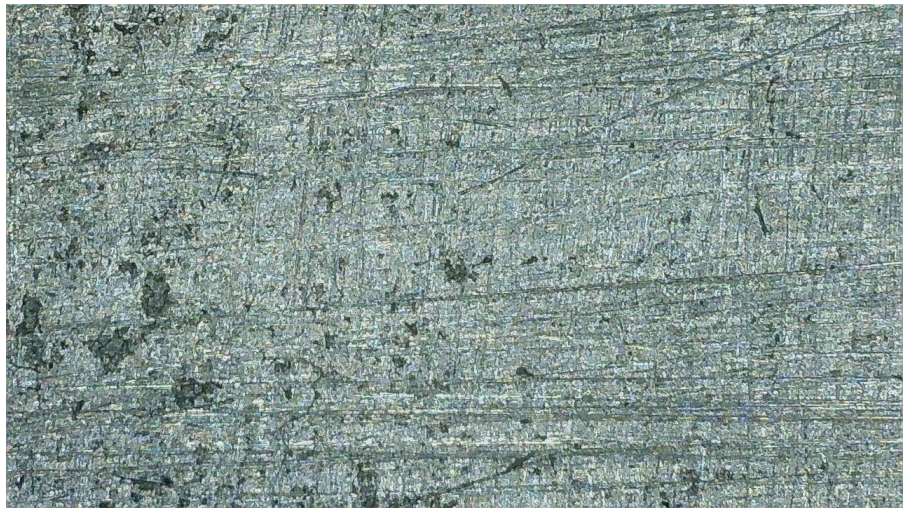
Gambar 4.2 Grafik Nilai Tertinggi Pada Variasi Arus



Gambar 4.3 Grafik Nilai Tertinggi Pada Pola Gerakan



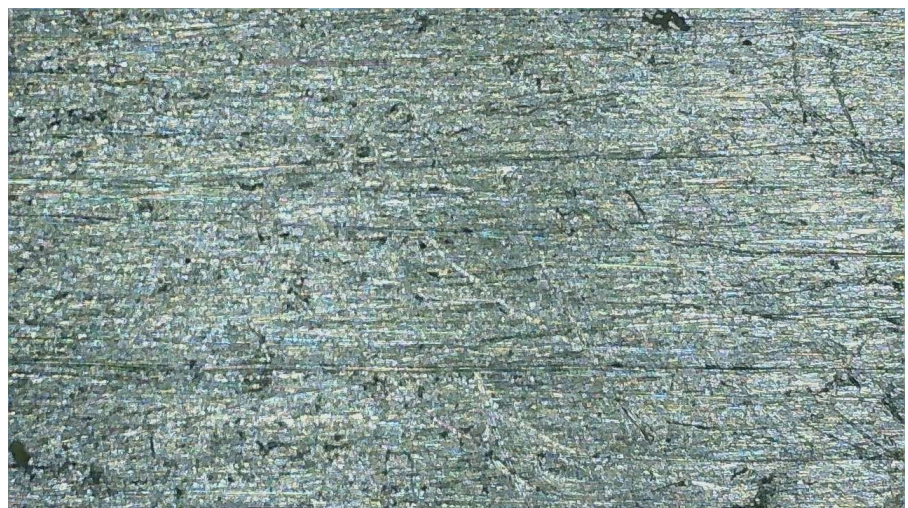
Gambar 4.4 Plat Baja ST-37 Dilas Lurus 80A



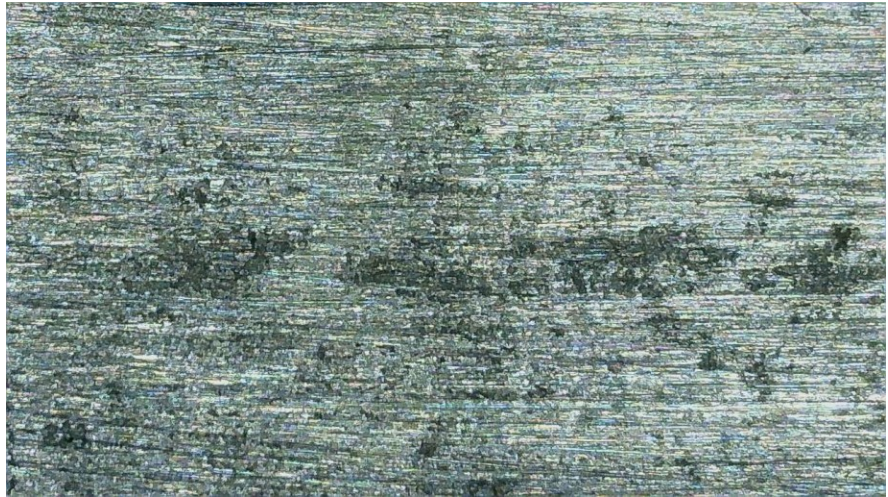
Gambar 4.5 Plat Baja ST-37 Dilas Lurus 100A



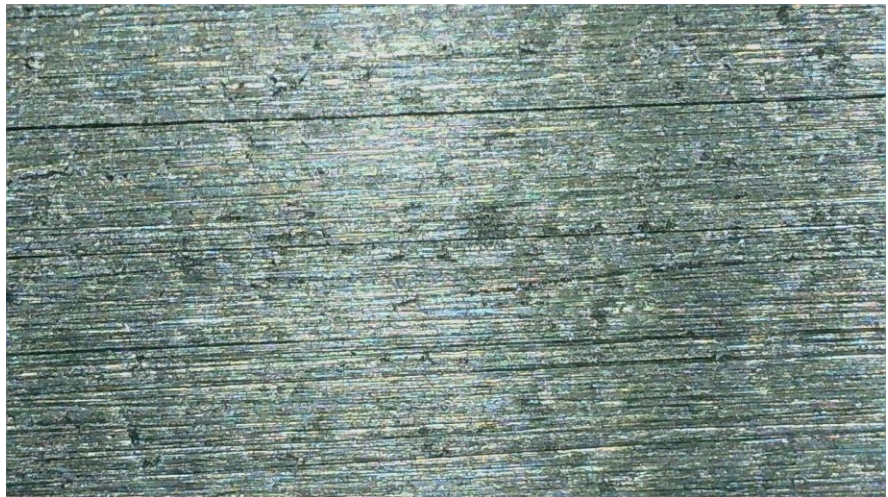
Gambar 4.6 Plat Baja ST-37 Dilas Lurus 120A



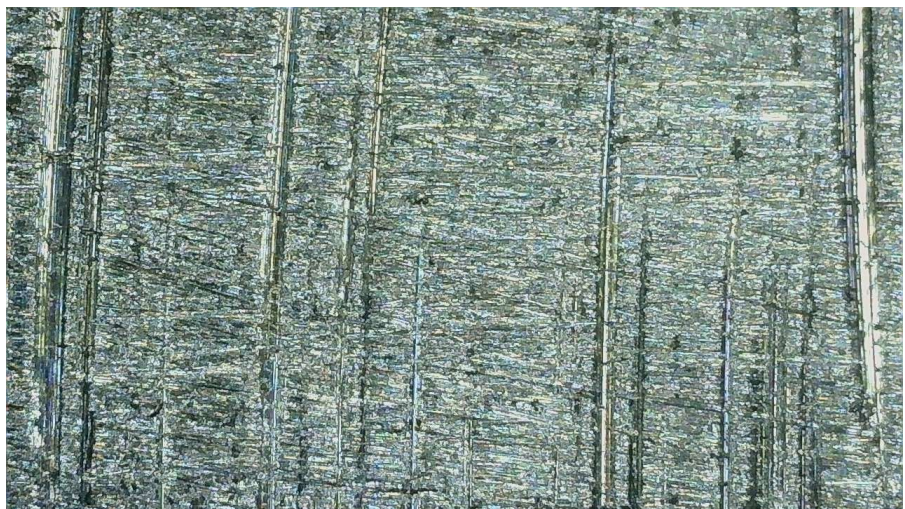
Gambar 4.7 Plat Baja ST-37 Dilas Zig-Zag 80A



Gambar 4.8 Plat Baja ST-37 Dilas Zig-Zag 100A



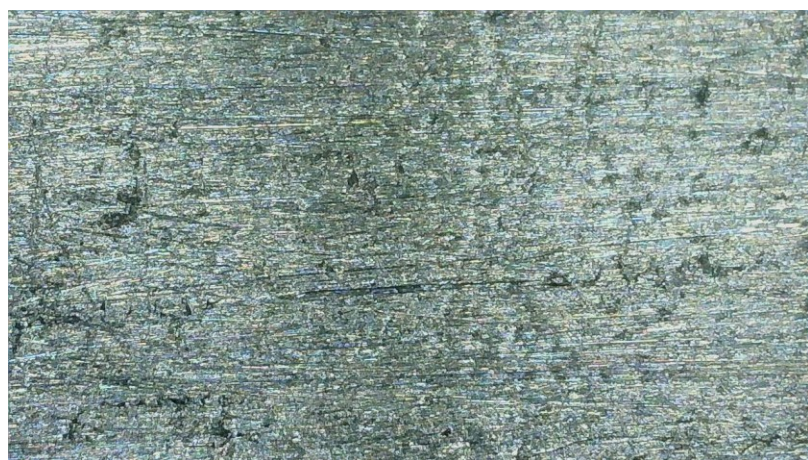
Gambar 4.9 Plat Baja ST-37 Dilas Zig-Zag 120A



Gambar 4.10 Plat Baja ST-37 Dilas Setengah Lingkaran 80A



Gambar 4.11 Plat Baja ST-37 Dilas Setengah Lingkaran 100A



Gambar 4.12 Plat Baja ST-37 Dilas Setengah Lingkaran 120A

Tabel 4. Rata-Rata Hasil Uji Tarik Seluruh Spesimen

Kode Spesimen	Pola Gerakan	Arus (A)	Yield Point (MPa)	Ultimate Tensile (MPa)	Break (MPa)	Regangan (%)
L-80	Lurus	80	235,44	243,28	19,26	4
L-100	Lurus	100	245,25	266,83	19,62	4
L-120	Lurus	120	251,13	257,02	16,67	5
Z-80	Zig-Zag	80	251,13	284,49	143,22	4
Z-100	Zig-Zag	100	243,28	272,72	24,52	3,6
Z-120	Zig-Zag	120	235,44	244,27	19,62	4
SL-80	Setengah Lingkaran	80	245,25	262,91	19,62	3,5
SL-100	Setengah Lingkaran	100	245,25	264,87	19,62	3,6
SL-120	Setengah Lingkaran	120	245,25	276,64	21,58	3,5

4.2.1 Analisis Pengaruh Variasi Arus

Berdasarkan Tabel 1, nilai kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength) untuk masing-masing variasi arus menunjukkan kecenderungan bahwa arus 80 A menghasilkan nilai tertinggi pada pola zig-zag (284,49 MPa), sementara arus 120 A menunjukkan variasi yang berbeda tergantung pola gerakan. Secara umum, arus 100 A cenderung memberikan keseimbangan yang baik antara penetrasi dan kontrol pembentukan rigi-rigi las.

4.2.2 Analisis Pengaruh Variasi Pola Gerakan

Dari ketiga pola gerakan elektroda yang diuji, pola zig-zag menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi secara keseluruhan, terutama pada kombinasi dengan arus 80 A (284,49 MPa). Pola setengah lingkaran menunjukkan kinerja menengah dengan nilai tertinggi 276,64 MPa pada arus 120 A, sedangkan pola lurus menghasilkan nilai terendah 243,28 MPa pada arus 80 A.

4.2.3 Kombinasi Parameter Optimum

Kombinasi parameter yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi adalah pola zig-zag dengan arus 80 A (284,49 MPa dengan regangan 4%). Sebaliknya, kombinasi terendah diperoleh pada pola lurus dengan arus 80 A (243,28 MPa dengan regangan 4%).

4.3 Uji Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur dilakukan pada daerah HAZ (Heat Affected Zone) dari masing-masing spesimen menggunakan mikroskop digital dengan perbesaran 1000×. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa seluruh spesimen memiliki struktur mikro yang terdiri dari fasa ferit (berwarna putih) dan perlit (berwarna hitam), yang merupakan ciri khas baja karbon rendah.

Tabel 5. Persentase Ferit dan Perlit pada Seluruh Spesimen

Kode Spesimen	Pola Gerakan	Arus (A)	Ferit (%)	Perlit (%)
L-80	Lurus	80	88	12
L-100	Lurus	100	95	5
L-120	Lurus	120	85	15
Z-80	Zig-Zag	80	90	10
Z-100	Zig-Zag	100	81	19
Z-120	Zig-Zag	120	88	12
SL-80	Setengah Lingkaran	80	95	5
SL-100	Setengah Lingkaran	100	87	13
SL-120	Setengah Lingkaran	120	89	11

4.3.1 Kandungan Ferit Tertinggi

Kandungan ferit tertinggi (95%) diperoleh pada dua kombinasi:

- a. Pola lurus dengan arus 100 A (L-100)
- b. Pola setengah lingkaran dengan arus 80 A (SL-80)
- c. Komposisi ini menunjukkan pendinginan yang lebih cepat, menghasilkan material yang lebih ulet dan tangguh karena dominasi fasa ferit yang lunak.

4.3.2 Kandungan Ferit Terendah

Kandungan ferit terendah (81%) diperoleh pada pola zig-zag dengan arus 100 A (Z-100) dengan kandungan perlit mencapai 19%. Hal ini disebabkan oleh panas yang lebih tinggi sehingga pendinginan berlangsung lebih lambat. Akibatnya, karbon lebih lama berdifusi dan membentuk sementit (Fe_3C) dalam perlit, sehingga material menjadi lebih keras tetapi lebih getas.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Pengaruh Arus Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik

Berdasarkan hasil uji tarik, terlihat bahwa arus pengelasan memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Pada arus rendah (80 A), penetrasi yang dihasilkan dangkal namun dengan kontrol panas yang baik, sehingga pada pola zig-zag menghasilkan kekuatan tarik tertinggi. Hal ini disebabkan oleh distribusi panas yang merata tanpa menimbulkan distorsi berlebih.

Pada arus sedang (100 A), terjadi keseimbangan antara kedalaman penetrasi dan kemudahan kontrol pembentukan rigi-rigi las. Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan cukup konsisten di seluruh pola gerakan, berkisar antara 264,87 MPa hingga 272,72 MPa.

Pada arus tinggi (120 A), penetrasi yang lebih dalam cenderung menghasilkan profil rigi-rigi las yang lebih konveks. Namun, peningkatan arus yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan cacat seperti undercut dan porositas, yang dapat menurunkan kualitas sambungan. Hal ini terlihat pada pola lurus 120 A yang mengalami penurunan kekuatan tarik dibandingkan dengan arus 100 A.

4.4.2 Pengaruh Pola Gerakan Elektroda terhadap Kekuatan Tarik

Pola gerakan elektroda memberikan kontribusi yang signifikan terhadap karakteristik geometri dan sifat mekanis hasil pengelasan:

- a. Pola Lurus: Menghasilkan rigi-rigi las yang sempit dengan penetrasi terfokus. Teknik ini efisien dan ekonomis, namun pada sambungan dengan celah lebar atau misalignment berpotensi menghasilkan cacat lack of fill. Hal ini menjelaskan mengapa pola lurus menghasilkan nilai kekuatan tarik terendah (243,28 MPa pada arus 80 A).
- b. Pola Zig-Zag: Memberikan peningkatan lebar rigi-rigi las dan volume pengisian, serta distribusi panas yang lebih homogen. Pola ini sangat sesuai untuk sambungan tipe V-groove karena meningkatkan fusi pada tepi sambungan. Hasil penelitian membuktikan bahwa pola zig-zag menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (284,49 MPa pada arus 80 A).
- c. Pola Setengah Lingkaran: Memberikan transisi gerakan yang lebih halus dengan kontrol optimal terhadap ketinggian rigi-rigi las. Pola ini menghasilkan kekuatan tarik menengah (276,64 MPa pada arus 120 A) dengan estetika permukaan yang superior.

4.4.3 Hubungan Struktur Mikro dengan Kekuatan Tarik

- a. Hasil uji mikrostruktur menunjukkan korelasi yang erat antara komposisi fasa dan nilai kekuatan tarik. Ferit sebagai fasa yang lunak dan ulet memberikan kontribusi terhadap keuletan material, sementara perlit memberikan kontribusi terhadap kekerasan dan kekuatan.
- b. Pada spesimen dengan kandungan ferit tinggi (95%), seperti pada L-100 dan SL-80, material cenderung lebih ulet dan tangguh. Namun, nilai kekuatan tarik maksimum justru diperoleh pada Z-80 dengan kandungan ferit 90% dan perlit 10%. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi yang seimbang antara ferit dan perlit (sekitar 90:10) memberikan kombinasi optimal antara kekuatan dan keuletan.
- c. Sebaliknya, pada Z-100 dengan kandungan ferit terendah (81%) dan perlit tertinggi (19%), meskipun material menjadi lebih keras, keuletannya berkurang sehingga lebih

rentan terhadap patah mendadak saat menerima beban. Nilai kekuatan tariknya (272,72 MPa) juga lebih rendah dibandingkan Z-80.

4.4.4 Implikasi Praktis

Hasil penelitian ini memberikan implikasi penting bagi praktik pengelasan di industri, khususnya untuk aplikasi struktural seperti gerbang, kanopi, dan elemen konstruksi logam sejenis. Kombinasi pola zig-zag dengan arus 80 A direkomendasikan untuk menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik optimum pada material baja ST-37 menggunakan elektroda E6013. Selain itu, pemahaman tentang hubungan antara parameter pengelasan dan struktur mikro yang terbentuk dapat membantu operator dalam menyesuaikan parameter untuk mencapai kualitas sambungan yang diinginkan.

- Kekuatan tarik tertinggi: 284,49 MPa (pola zig-zag, arus 80 A)
- Kekuatan tarik terendah: 243,28 MPa (pola lurus, arus 80 A)
- Kandungan ferit tertinggi: 95% (L-100 dan SL-80)
- Kandungan ferit terendah: 81% (Z-100)
- Kombinasi parameter optimum: Pola zig-zag dengan arus 80 A

5. Perbandingan

Penelitian tentang pengaruh parameter pengelasan SMAW terhadap kualitas sambungan las telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Chairul & Nurdin (2022) menganalisis korelasi variasi arus terhadap kekuatan tarik pada baja karbon rendah menggunakan elektroda E7018, sementara Badia et al. (2021) mengevaluasi dampak variasi pola gerakan elektroda terhadap sifat mekanis baja ST-37. Sihombing et al. (2022) dan Surahman et al. (2023) juga telah meneliti pengaruh arus las SMAW terhadap kekuatan tarik sambungan butt joint pada material yang sama. Namun demikian, studi yang mengintegrasikan kedua variabel secara simultan yaitu variasi arus pengelasan dan variasi pola gerakan elektroda dalam satu desain eksperimental sistematis masih sangat terbatas, terutama untuk kombinasi material baja ST-37 dengan elektroda E6013 yang dominan digunakan dalam praktik industri domestik. Dengan demikian, novelty atau kebaruan penelitian ini terletak pada analisis interaksi antara arus pengelasan (80 A, 100 A, 120 A) dan tiga teknik pola gerakan elektroda (lurus, zig-zag, setengah lingkaran) terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las, yang belum banyak diungkap dalam literatur yang ada. Penelitian ini juga melengkapi keterbatasan referensi parametrik untuk aplikasi struktural general-purpose seperti gerbang, kanopi, dan elemen konstruksi logam sejenis.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian tarik dan mikrostruktur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi arus pengelasan dan pola gerakan elektroda berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja ST-37. Nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada kombinasi pola zig-zag dengan arus 80 A sebesar 284,49 MPa dan regangan 4%, karena arus 80 A menghasilkan panas yang cukup tanpa distorsi berlebih dan pola zig-zag membantu penyebaran panas secara merata. Sebaliknya, nilai terendah terjadi pada pola lurus dengan arus 80 A sebesar 243,28 MPa akibat penetrasi yang kurang dalam dan jalur las yang sempit. Pada uji mikrostruktur, seluruh spesimen menunjukkan struktur ferit (81–95%) dan perlit (5–19%) yang merupakan ciri khas baja karbon rendah.

Kandungan ferit tertinggi (95%) diperoleh pada pola lurus arus 100 A dan pola setengah lingkaran arus 80 A, yang mengindikasikan pendinginan lebih cepat sehingga material lebih ulet dan tangguh, sedangkan kandungan ferit terendah (81%) terjadi pada pola zig-zag arus 100 A dengan perlit 19% yang mengindikasikan pendinginan lebih lambat sehingga material lebih keras namun lebih getas.

Kontribusi Penulis: Penulis, Muhammad Nabiil Hadiyyatullah, merupakan kontributor utama dan pelaksana tunggal dalam seluruh rangkaian penelitian ini, mulai dari perumusan masalah, studi literatur, perancangan desain eksperimen, persiapan spesimen, hingga pelaksanaan proses pengelasan SMAW dengan sembilan kombinasi variasi arus (80 A, 100 A, 120 A) dan tiga pola gerakan elektroda (lurus, zig-zag, setengah lingkaran) di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember. Penulis juga terlibat langsung dalam pengujian tarik di Politeknik Negeri Malang serta pengujian mikrostruktur menggunakan

mikroskop digital, dilanjutkan dengan pengolahan data, analisis hasil, penyusunan naskah skripsi, dan penarikan kesimpulan. Dengan demikian, penulis memberikan kontribusi penuh sebagai perancang, pelaksana, analisis, dan penyusun laporan penelitian ini.

Pendanaan: Penelitian ini merupakan bagian dari tugas akhir (skripsi) penulis dalam rangka memenuhi syarat kelulusan Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember. Seluruh biaya pelaksanaan penelitian, termasuk pengadaan bahan baku (plat baja ST-37 dan elektroda E6013), proses pengelasan, pengujian tarik, pengujian mikrostruktur, serta penyusunan laporan, ditanggung sepenuhnya oleh penulis secara mandiri (self-funded) tanpa adanya bantuan dana dari lembaga atau sponsor eksternal.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data yang mendukung temuan dalam penelitian ini tersedia dalam naskah skripsi ini dan dapat diperoleh dari penulis koresponden dengan permintaan yang wajar. Data tersebut meliputi hasil pengujian tarik dari sembilan kombinasi variasi arus dan pola gerakan elektroda (disajikan dalam bentuk tabel nilai yield point, ultimate tensile strength, break strength, dan regangan), serta dokumentasi hasil pengujian mikrostruktur berupa foto mikro dengan perbesaran 1000× beserta persentase komposisi fasa ferit dan perlit. Seluruh data mentah hasil pengujian juga tersedia dalam bentuk lampiran sertifikat material, sertifikat welder, serta dokumentasi proses pembuatan spesimen, pengelasan, dan pengujian.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, kedua orang tua dan keluarga tercinta atas doa dan dukungannya. Terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Kosjoko, S.T., M.T. dan Ibu Nely Ana Mufarida, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing, serta Bapak Dr. Mokh. Hairul Bahri, S.T., M.T. dan Bapak Asroful Abidin, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember, teman-teman seperjuangan, dan Jova Resti Asyia Bilillah atas dukungan dan semangat yang diberikan.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini. Penelitian dilaksanakan secara independen sebagai bagian dari tugas akhir (skripsi) tanpa adanya hubungan finansial, personal, maupun profesional dengan pihak manapun yang dapat mempengaruhi proses penelitian, analisis data, maupun penyajian hasil.

Referensi

- [1] Arief, F., Ningsih, T. H., Mesin, T., Surabaya, U. N., Mesin, T., & Surabaya, U. N. (2023). PENGARUH VARIASI HOLDING TIME PWHT PADA HASIL PENGELASAN SMAW BAJA AISI 1045 TERHADAP NILAI UJI TARIK. 2(1), 1–7.
- [2] Badia, B. A., Asiri, M. H., Husen, M., Program, M., Teknik, M., Indonesia, U. M., Jurusan, D., Mesin, T., Indonesia, U. M., Makassar, K., Selatan, S., Elektroda, G., & Movement, E. (2021). Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan bending dan kekerasan Analysis of variations in electrode motion on the welding results of low carbon steel ST37 on bending strength and hardness. 19, 53–60.
- [3] Chairul, N., & Nurdin, H. (2022). PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN ELEKTRODA E-7018 THE EFFECT OF VARIATION OF CURRENT STRENGTH ON TENSIBLE STRENGTH OF SMAW WELDING ON LOW CARBON STEEL WITH ELECTRODE E-7018. 4(4), 167–172.
- [4] Dengan, A., Arus, V., & Sudut, D. A. N. (2022). Analisa cacat pengelasan smaw pada posisi 2g pada baja material a36 dengan variasi arus dan sudut pengelasan. 1(1), 257–263.
- [5] Ismy, A. S., Teknik, J., Politeknik, M., & Lhokseumawe, N. (n.d.). Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan variasi arus pada proses pengelasan SMAW (Analysis of the strength of the material joint of AISI 1050 and ASTM A36 with welding current variations in the SMAW process). 1(1), 1–4.
- [6] Mikro, S. (2022). Jurnal teknik perkapalan. 10(3), 48–57.
- [7] Nasution, A. H. (2023). PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI SS201 TERHADAP HASIL UJI TARIK. 1–3.
- [8] Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX Pendahuluan Tinjauan Pustaka. 3(1), 24–30.
- [9] Rendah, B. K. (2023). Jurnal Teknik Indonesia. 2, 150–158.
- [10] Rifaldi, A., Ryadin, A. U., & Hakim, A. R. (2021). PENGARUH SUHU PREHEATING TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PELAT BAJA ASTM A36 I. PENDAHULUAN Pada struktur hasil pengelasan tidak disadari akan terjadi tegangan sisa setelahnya .
- [11] Sihombing, A. P., Yunus, M., & Gunawan, I. (2022). ANALISA KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN LAS BUTT JOINT BAJA ST 37 METODEPENGELASAN SMAW DAN GTAW. 3(1), 23–28.
- [11] Surahman, A., Mufarida, N. A., Mesin, J. T., & Jember, U. M. (2023). PENGARUH VARIASI ARUS LAS SMAW TERHADAP UJI TARIK DAN UJI. 1(3), 129–137.

- [12] Variasi, P., Dan, A., Pengelasan, P., & Terhadap, S. (2021). JURNAL Teknik Mesin. 14(2), 134.
- [13] Arief, F., Ningsih, T. H., Mesin, T., Surabaya, U. N., Mesin, T., & Surabaya, U. N. (2023). PENGARUH VARIASI HOLDING TIME PWHT PADA HASIL PENGELASAN SMAW BAJA AISI 1045 TERHADAP NILAI UJI TARIK. 2(1), 1–7.
- [14] Badia, B. A., Asiri, M. H., Husen, M., Program, M., Teknik, M., Indonesia, U. M., Jurusan, D., Mesin, T., Indonesia, U. M., Makassar, K., Selatan, S., Elektroda, G., & Movement, E. (2021). Analisa variasi gerakan elektroda pada hasil las material baja karbon rendah ST37 terhadap kekuatan bending dan kekerasan Analysis of variations in electrode motion on the welding results of low carbon steel ST37 on bending strength and hardness. 19, 53–60.
- [15] Chairul, N., & Nurdin, H. (2022). PENGARUH VARIASI KUAT ARUS TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW PADA BAJA KARBON RENDAH DENGAN ELEKTRODA E-7018 THE EFFECT OF VARIATION OF CURRENT STRENGTH ON TENSILE STRENGTH OF SMAW WELDING ON LOW CARBON STEEL WITH ELECTRODE E-7018. 4(4), 167–172.
- [16] Dengan, A., Arus, V., & Sudut, D. A. N. (2022). Analisa cacat pengelasan smaw pada posisi 2g pada baja material a36 dengan variasi arus dan sudut pengelasan. 1(1), 257–263.
- [17] Ismy, A. S., Teknik, J., Politeknik, M., & Lhokseumawe, N. (n.d.). Analisa kekuatan sambungan material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan variasi arus pada proses pengelasan SMAW (Analysis of the strength of the material joint of AISI 1050 and ASTM A36 with welding current variations in the SMAW process). 1(1), 1–4.
- [18] Mikro, S. (2022). Jurnal teknik perkapalan. 10(3), 48–57.
- [19] Nasution, A. H. (2023). PENGARUH VARIASI ELEKTRODA PENGELASAN SMAW PADA BAJA AISI SS201 TERHADAP HASIL UJI TARIK. 1–3.
- [20] Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX Pendahuluan Tinjauan Pustaka. 3(1), 24–30.
- [21] Rendah, B. K. (2023). Jurnal Teknik Indonesia. 2, 150–158.
- [22] Rifaldi, A., Ryadin, A. U., & Hakim, A. R. (2021). PENGARUH SUHU PREHEATING TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN PELAT BAJA ASTM A36 I .
- [23] Sihombing, A. P., Yunus, M., & Gunawan, I. (2022). ANALISA KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN LAS BUTT JOINT BAJA ST 37 METODEPENGELASAN SMAW DAN GTAW. 3(1), 23–28.
- [24] Surahman, A., Mufarida, N. A., Mesin, J. T., & Jember, U. M. (2023). PENGARUH VARIASI ARUS LAS SMAW TERHADAP UJI TARIK DAN UJI. 1(3), 129–137.
- [25] Variasi, P., Dan, A., Pengelasan, P., & Terhadap, S. (2021). JURNAL Teknik Mesin. 14(2), 134–139.