



Research article

Pengaruh Variasi Elektroda dan Kuat Arus Terhadap sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las SMAW Baja ST 60

Syaukaty Yasinta^{1,}, Trio Nur Wibowo¹, Risza Dwi Wahyu Saputro¹*

^{1,} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Indonesia.*

**Corresponding author syasinta@ump.ac.id*

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 24 June 2025

Revised : 3 July 2025

Accepted : 17 July 2025

Available online: 31 July 2025

Keywords: *ST60 steel, shielded Metal Arc Welding (SMAW), E7013/E7016/E7018, Electrodes, tensile strength, microstructure.*

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of varying welding current and electrode types on the tensile strength and microstructure of welded joints in medium-carbon steel ST60, with the goal of providing optimal welding parameter recommendations applicable in industrial settings. Welding is a technique for joining metals by melting part of the base metal and filler material, either with or without pressure, to produce a continuous joint. The Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method was chosen due to its simplicity, portability, and adaptability to field conditions. The welding process was carried out in the 1G (flat position) using a spiral groove pattern to ensure even heat distribution across the joint area. The welding process was performed on ST60 steel plates using three types of electrodes (AWS E7013, E7016, and E7018) with varying currents of 90 A, 100 A, and 110 A. After welding, tensile tests and microstructural analyses were conducted to evaluate the impact of these parameters on the mechanical properties and microstructural characteristics of the welded joints. The results indicate that the combination of electrode E7018 with a current of 90 A produced the highest tensile strength, reaching 370.5 MPa. Other combinations yielded lower values: electrode E7013 achieved 312.7 MPa (90 A), 335.9 MPa (100 A), and 306.5 MPa (110 A); electrode E7016 achieved 318.7 MPa (90 A), 339.9 MPa (100 A), and 346.8 MPa (110 A); and electrode E7018 achieved 369.5 MPa (100 A) and 350.2 MPa (110 A). Microstructural analysis revealed that welds made with electrode E7018 and a current of 90 A were dominated by fine ferrite and thin pearlite phases, significantly enhancing the material's ductility and hardness.

ABSTRAK

Kata Kunci: Baja ST60, Shielded Metal Arc Welding (SMAW), elektroda E7013/E7016/E7018, kekuatan tarik, struktur mikro

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus dan jenis elektroda terhadap kekuatan tarik serta struktur mikro sambungan las pada baja karbon sedang ST60, untuk memberikan rekomendasi parameter pengelasan optimal yang dapat diterapkan dalam aplikasi industri. Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi, baik dengan atau tanpa tekanan, sehingga menghasilkan sambungan yang kontinu. Metode Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dipilih karena kesederhanaannya, portabilitasnya, dan adaptabilitasnya pada kondisi lapangan. Proses pengelasan dilakukan pada pelat baja ST60 menggunakan tiga jenis elektroda (AWS E7013, E7016, dan E7018) dengan variasi kuat arus 90 A, 100 A, dan 110 A. Setelah proses pengelasan, uji tarik dan analisis struktur mikro dilakukan untuk mengevaluasi dampak parameter-parameter tersebut terhadap sifat mekanik dan karakteristik mikrostruktur sambungan las. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi elektroda E7018 dengan kuat arus 90 A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, yakni 370,5 MPa. Sementara itu, kombinasi lainnya menghasilkan nilai lebih rendah: elektroda E7013 sebesar 312,7 MPa (90 A), 335,9 MPa (100 A), dan 306,5 MPa (110 A); elektroda E7016 sebesar 318,7 MPa (90 A), 339,9 MPa (100 A), dan 346,8 MPa (110 A); serta elektroda E7018 sebesar 369,5 MPa (100 A) dan 350,2 MPa (110 A). Analisis struktur mikro menunjukkan bahwa sambungan las dengan elektroda E7018 dan kuat arus 90 A didominasi oleh fase ferit halus dan perlit tipis, yang meningkatkan keuletan dan kekerasan material secara signifikan.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang manufaktur semakin pesat seiring kemajuan industri modern. Pengelasan memegang peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam serta menjadi bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri. Baja karbon digunakan secara luas dalam pembangunan konstruksi dan mesin karena sifat mekaniknya yang baik serta biaya produksi yang relatif rendah. Dalam aplikasi tersebut, pengelasan sering kali menjadi metode penyambungan utama untuk membentuk konstruksi yang kuat dan tahan lama.

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) merupakan salah satu metode pengelasan yang banyak digunakan dalam industri karena sifatnya yang sederhana, fleksibel, dan tidak memerlukan peralatan pendukung yang kompleks. Metode ini sering diterapkan pada berbagai jenis logam, termasuk baja karbon, baja paduan rendah, stainless steel, besi cor, dan sebagainya [1]. Selama proses pengelasan berlangsung, terjadi siklus termal yang cepat akibat pemanasan dan pendinginan mendadak, sehingga menimbulkan perubahan mikrostruktur, deformasi, serta tegangan sisa pada daerah las. Faktor-faktor tersebut sangat memengaruhi kekuatan mekanik dan ketahanan struktural sambungan las terhadap beban kerja [2].

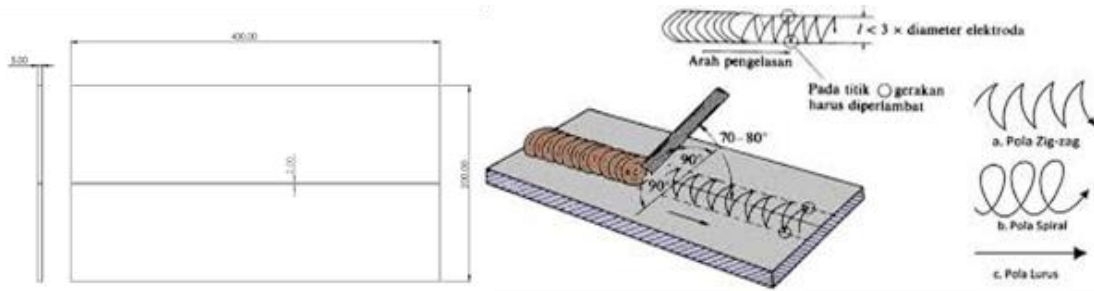
Baja karbon sedang seperti ST60 sering digunakan dalam konstruksi dan permesinan karena memiliki kombinasi yang baik antara kekuatan tarik, ketangguhan, dan kemampuan las. Baja ini memiliki kadar karbon sekitar 0,3–0,6%, sehingga dapat dikeraskan secara parsial melalui perlakuan panas [3]. Dalam aplikasi industri, baja ST60 umumnya diproses dalam bentuk pelat yang selanjutnya dilas sesuai desain struktur menggunakan metode SMAW. Namun, kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter penting, salah satunya adalah kuat arus dan jenis elektroda.

Kuat arus pengelasan merupakan salah satu parameter kritis dalam proses SMAW yang memengaruhi penetrasi, lebar las, struktur mikro, dan kekuatan tarik sambungan. Kuat arus yang terlalu rendah menyebabkan ketidaksempurnaan las seperti penetrasi dangkal dan sambungan tidak rata, sedangkan kuat arus yang terlalu tinggi meningkatkan risiko keretakan dan pembentukan struktur mikro yang getas [4]. Meskipun beberapa penelitian telah membahas pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan las, masih terbatasnya studi yang secara spesifik mengevaluasi kombinasi jenis elektroda dan kuat arus dalam pengelasan baja ST60 menggunakan metode SMAW untuk mencapai kekuatan tarik maksimum dan struktur mikro yang stabil.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kuat arus dan jenis elektroda dalam proses pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro sambungan las pada baja karbon sedang ST60. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi parameter pengelasan optimal yang dapat diterapkan dalam aplikasi industri guna meningkatkan kualitas dan daya tahan sambungan las.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pelat baja karbon sedang ST60 dengan dimensi 400 mm × 200 mm × 5 mm sebagai material dasar. Komposisi kimia baja ST60 disajikan dalam Tabel 2 untuk memberikan gambaran awal mengenai karakteristik logam sebelum proses pengelasan dilakukan. Pengelasan dilaksanakan pada posisi 1G (*flat position*) dengan pola alur spiral guna memastikan distribusi panas yang merata di sepanjang daerah sambungan sebagaimana diilustrasikan dalam gambar 1. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) tipe DAIDEN MMAi 220H dengan parameter teknis yang tercantum dalam tabel 1. Setelah proses pengelasan selesai, spesimen didinginkan secara alami di udara terbuka tanpa diberikan perlakuan panas tambahan (*Post Weld Heat Treatment/PWHT*) sebagai bagian dari perlakuan akhir. Proses mengkaraktisasi pengaruh variasi jenis elektroda dan kuat arus terhadap kualitas sambungan las, dilakukan dua jenis evaluasi, yaitu analisis struktur mikro dan pengujian tarik ASTM E8. Analisis struktur mikro dilakukan setelah melalui tahapan preparasi metalografi dan proses etsa menggunakan larutan Nital 2–5%, bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan fase serta morfologi mikrostruktur akibat siklus termal selama pengelasan, terutama pada zona logam las (*weld metal*), zona terpengaruh panas (HAZ), dan logam induk (*base metal*). Sementara itu, pengujian tarik dilaksanakan sesuai standar ASTM E8/E8M untuk mengevaluasi kekuatan sambungan las terhadap beban aksial dan memberikan informasi mengenai stabilitas ikatan antar zona tersebut. Penelitian menggunakan 3 jenis elektroda, yaitu E7013, E7016, dan E7018, variasi kuat arus, yaitu 90 A, 100 A, dan 110 A, sehingga terdapat 9 kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi diuji dengan 3 spesimen uji tarik dan 1 spesimen analisis struktur mikro. Total keseluruhan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 36 spesimen.



Gambar 1. Spesimen pengelasan dan pola pengelasan

Tabel 1. Parameter Pengelasan

Parameter	Nilai/Spesifikasi
-----------	-------------------

Material	Baja ST 60
Proses Pengelasan	<i>Shielded Metal Arc Welding</i> (SMAW)
Mesin Las	DAIDEN MMAi 220H
Jenis Sambungan	Butt Joint
Posisi Pengelasan	1G (Flat Position)
Diameter Elektroda	3,2 mm
Jenis Elektroda	AWS E7013, E7016, E7018
Polaritas Arus	<i>Direct Current Electrode Positive</i> (DCEP)
Kuat Arus (Ampere)	90 A, 100 A, 110 A
Tegangan Busur (Volt)	20–28 V
Pola Pengelasan	Spiral
Pendinginan Setelah Las	Udara terbuka
Jumlah sampel	3 per variasi

Tabel 2. Komposisi Kimia Baja ST60 dan Logam Pengisi (*filler*) (mas. %)

Elemen	Baja ST60 %	E7013 %	E7016 %	E7018 %
C	0,3–0,6	0,09	0,12	0,10
Mn	0,5–1,0	0,60	0,80	1,00
Si	–	0,30	0,40	0,50
S	≤ 0,05	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
P	≤ 0,04	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Cr	–	–	–	–
Ni	–	–	–	–
Mo	–	–	–	–
Fe	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>	<i>Balance</i>

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengaruh Jenis Eektroda dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik

Hasil pengujian tarik pada sambungan las material baja karbon sedang jenis ST 60 menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menunjukkan bahwa kombinasi elektroda E7018 dengan kuat arus 90A menghasilkan performa mekanis yang paling optimal (gambar 2). Kekuatan tarik rata-rata mencapai 370,5 MPa, dengan nilai maksimum tertinggi mencapai 409,03 MPa, jauh lebih tinggi dibandingkan hasil dari elektroda lainnya seperti E7013 dan E7016 pada berbagai variasi arus yang diuji. Temuan ini membuktikan bahwa pemilihan elektroda dan parameter pengelasan memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan mekanik sambungan las.

Elektroda E7018 termasuk dalam kategori *low hydrogen electrode* sesuai standar AWS A5.1:2020, yang dirancang untuk membatasi penyerapan hidrogen selama proses peleburan. Hidrogen merupakan salah satu penyebab utama keretakan dingin (*cold cracking*) pada baja karbon sedang seperti ST60, terutama di daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), karena dapat menyebabkan tekanan internal yang tinggi di dalam struktur mikro. Dengan karakteristik fluks yang rendah hidrogen, elektroda mampu meningkatkan kekuatan tarik sambungan las hingga 20-30% dibandingkan elektroda konvensional seperti E7013, hasil yang selaras dengan data eksperimen ini.

Fluks pada elektroda E7018 juga memberikan stabilitas busur yang lebih baik serta meningkatkan kualitas fusi antara logam induk (*base metal*) dan logam las (*weld metal*). Penetrasi yang dihasilkan

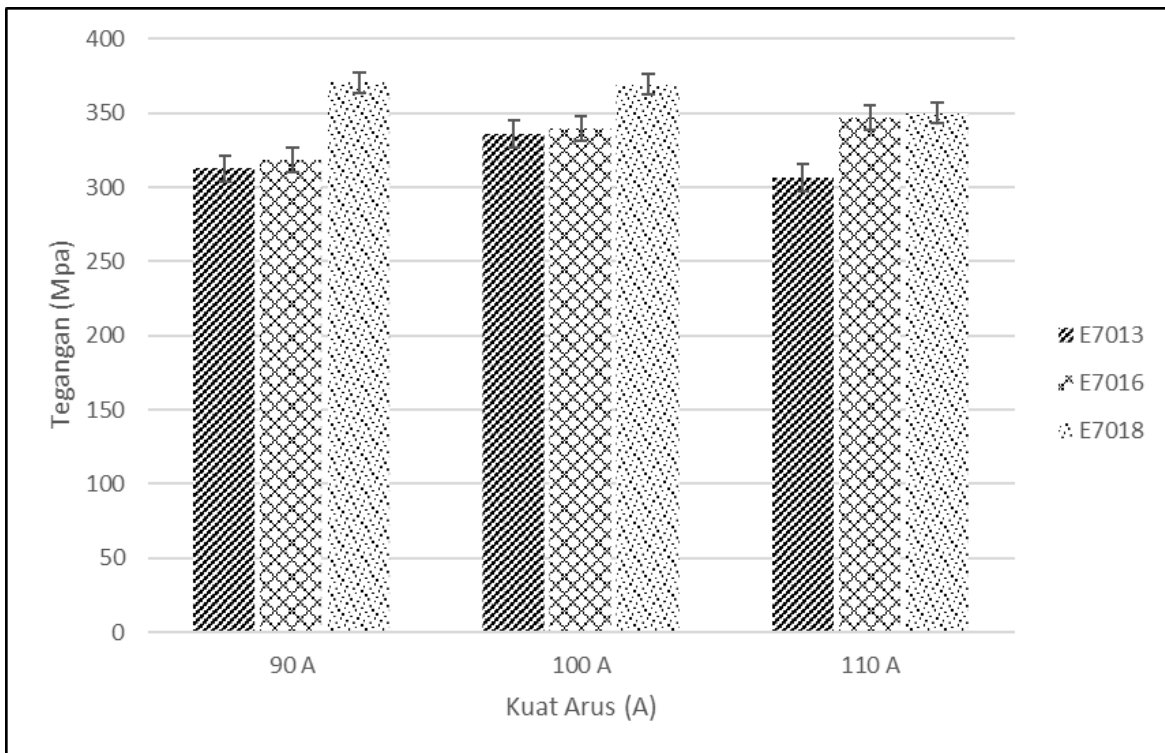
menjadi homogen tanpa cacat internal seperti porositas atau retakan, yang sangat penting dalam pengelasan baja karbon sedang seperti ST 60 karena material ini rentan terhadap cold cracking jika kadar hidrogen dalam logam las tinggi. Selain itu, fluks pada elektroda ini mendukung peningkatan stabilitas busur dan kualitas bead las sehingga fusi antara logam induk dan logam las dapat tercapai secara sempurna [5][6].

Analisis fraktografi menunjukkan bahwa semua spesimen mengalami patahan pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) ditunjukkan oleh Gambar 3 bukan pada logam las. Hal ini dikarenakan oleh kecenderungan HAZ pada baja karbon sedang menjadi titik kritis akibat perubahan struktur mikro (*microstructural transformation*) yang dipicu oleh paparan panas lokal selama proses pengelasan [7]. Meskipun kekuatan logam las belum sepenuhnya menyamai kekuatan material asli (600 MPa), logam las tetap menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan HAZ. Ini membuktikan bahwa kombinasi elektroda E7018 dan parameter pengelasan yang tepat efektif dalam meminimalkan risiko kegagalan pada HAZ.

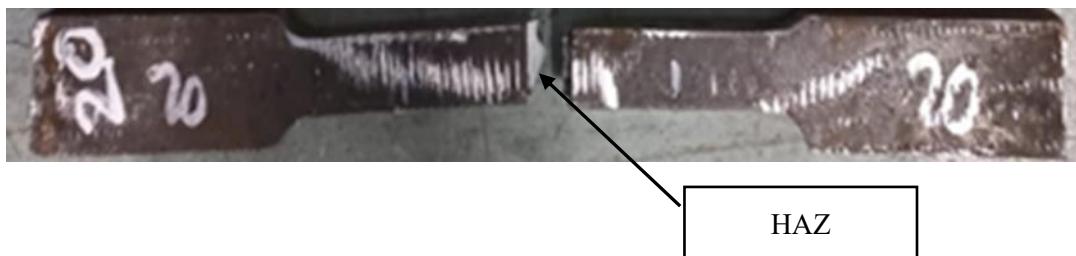
Perbandingan antara elektroda E7018, E7013, dan E7016 menunjukkan bahwa elektroda E7018 memiliki performa mekanis dan operasional yang lebih stabil. Elektroda E7013, meskipun memiliki elastisitas tinggi, kurang cocok untuk aplikasi dengan konfigurasi kampuh V yang dalam (*deep V-groove joint*) karena fluksnya cenderung menghasilkan fusi yang tidak sempurna (*incomplete root fusion*). Sementara itu, elektroda E7016, meskipun juga termasuk *low hydrogen*, memiliki karakteristik operasional yang lebih sulit, seperti stabilitas busur yang kurang konsisten (*arc instability*) dan rentan terhadap retak dingin (*cold cracking*) jika laju pendinginan (*cooling rate*) terlalu cepat. Untuk mendukung interpretasi data, hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel perbandingan singkat dan gambar mikrografi yang menunjukkan kualitas fusi dan homogenitas struktur mikro logam las. Gambar 2 menunjukkan bahwa elektroda E7018 memberikan kekuatan tarik rata-rata tertinggi dibandingkan elektroda lainnya, sementara gambar mikrografi mengonfirmasi bahwa struktur mikro logam las yang dihasilkan bersifat padat (*dense*) dan bebas dari inklusi atau porositas.

Pemilihan kuat arus sebesar 90A untuk elektroda berdiameter 3,2 mm dinilai optimal karena berada dalam rentang rekomendasi teknis (80–110A). Arus yang tidak terlalu besar namun cukup untuk mencairkan logam induk secara sempurna akan menghasilkan penetrasi dan fusi yang maksimal tanpa menyebabkan distorsi atau *overheating*. Dengan demikian, energi panas yang dihasilkan oleh arus 90A memberikan kondisi ideal untuk membentuk sambungan las yang kuat dan stabil. Dari aspek material, meskipun baja ST 60 memiliki kekuatan tarik sekitar 600 MPa, daerah HAZ mengalami penurunan sifat mekanik akibat perubahan struktur mikro akibat paparan panas lokal.

Hasil uji menunjukkan bahwa semua spesimen mengalami patahan pada daerah HAZ ditunjukkan oleh gambar 3. Hal ini membuktikan bahwa meskipun belum sepenuhnya mencapai kekuatan material asli (600MPa), logam las menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ. Jika dibandingkan dengan elektroda E7013 dan E7016, elektroda E7018 menunjukkan performa yang lebih stabil dari segi stabilitas busur, kedalaman penetrasi, dan kualitas struktur mikro logam las. Elektroda E7013, meskipun memiliki elastisitas tinggi, cenderung kurang cocok digunakan untuk konfigurasi kampuh V yang dalam (*deep V-groove joint*) karena ukuran dan karakteristik fluksnya yang kurang mendukung fusi sempurna (*incomplete root fusion*). Sementara elektroda E7016, meskipun *low hydrogen* memiliki karakteristik operasional yang lebih sulit, seperti busur yang kurang stabil dan rentan terhadap retak jika pendinginannya terlalu cepat [5].



Gambar 2. Grafik pengujian kekuatan tarik sambungan las SMAW material ST 60



Gambar 3. Hasil patahan daerah HAZ pengujian kekuatan tarik

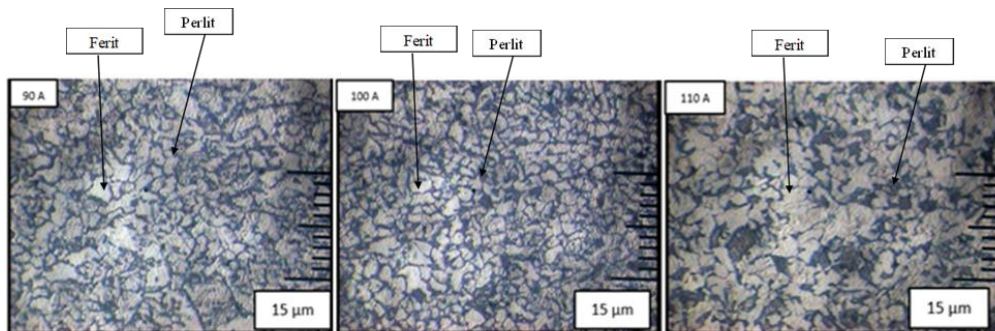
3.2. Pengaruh Jenis Elektroda dan Kuat Arus terhadap struktur mikro

Pengaruh jenis elektroda dan variasi kuat arus pengelasan terhadap mikrostruktur sambungan las, khususnya pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), telah diamati secara mendalam dengan menggunakan elektroda E7013, E7016, dan E7018 pada variasi arus sebesar 90 A, 100 A, dan 110 A, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4-6. Observasi struktur mikro menunjukkan bahwa mikrostruktur didominasi oleh butir-butir ferit berwarna putih (terang), sedangkan fasa perlit muncul dalam jumlah yang lebih sedikit dengan karakteristik warna gelap. Butir ferit cenderung lebih halus, sementara butir perlit memiliki morfologi yang lebih kasar. Secara mekanis, butir perlit bersifat keras karena mengandung karbon yang lebih tinggi, sedangkan butir ferit cenderung lunak [8]. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter pengelasan, termasuk jenis elektroda dan kuat arus, memengaruhi distribusi fase, ukuran butir, serta stabilitas mikrostruktur di zona HAZ, yang merupakan wilayah yang sangat rentan terhadap transformasi termal selama proses pengelasan.

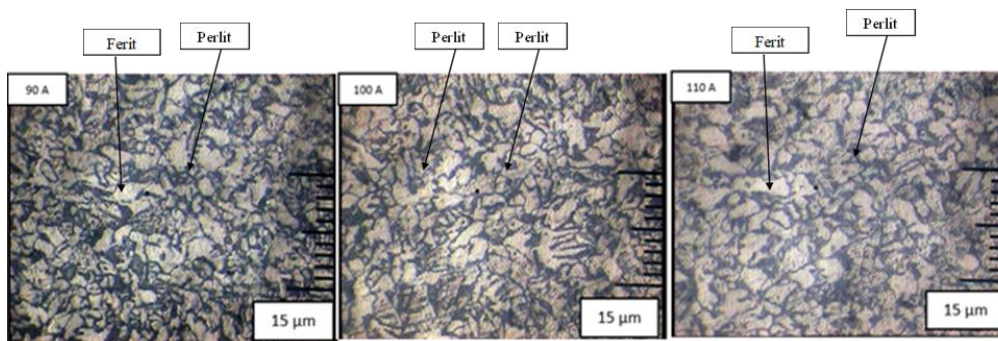
Variasi elektroda E7013 (gambar 4), penggunaan arus 90 A menghasilkan struktur mikro HAZ yang relatif halus dan homogen, dengan dominasi ferit proeutektoid dan perlit lamellar yang tersebar merata

[8]. Hal ini menunjukkan bahwa laju pendinginan cukup cepat dan kontrol difusi karbon berlangsung dengan baik. Namun, peningkatan arus menjadi 100 A menyebabkan pelebaran zona HAZ serta munculnya perlit kasar di beberapa titik, meskipun tidak terdapat formasi fase keras seperti martensit. Variasi arus tertinggi (110 A), zona HAZ semakin meluas, dan struktur mikro mulai menunjukkan indikasi *over-tempering*, yang ditandai dengan segregasi unsur paduan dan pembentukan fasa martensit lokal. Kondisi ini berpotensi menurunkan ketahanan fatik material dan meningkatkan risiko retak termal akibat tegangan residu yang terbentuk [9].

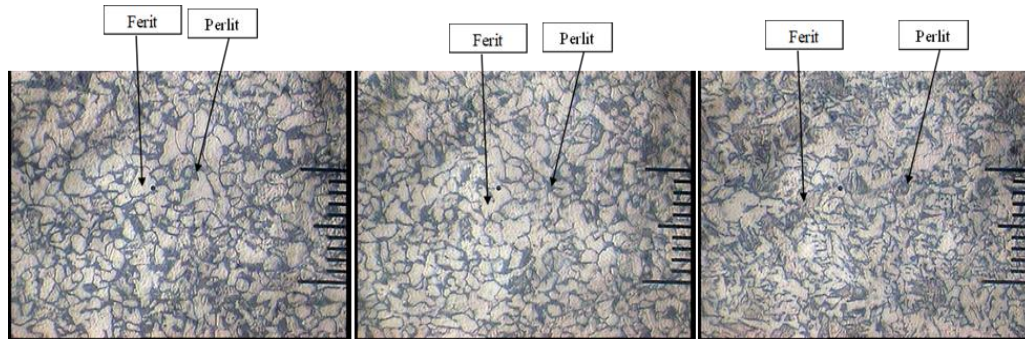
Elektroda E7016 (gambar 5) menunjukkan pola mikrostruktur HAZ yang lebih heterogen dibandingkan E7013. Pada arus 90 A, perlit kasar mendominasi dengan batas butir yang kurang tajam, menunjukkan laju pendinginan yang tidak sepenuhnya optimal. Dengan kenaikan arus hingga 110 A, terjadi peningkatan signifikan pada lebar HAZ dan munculnya fasa bainitik serta martensit parsial akibat efek quenching yang intensif. Kondisi ini berdampak pada penurunan kelenturan dan potensi peningkatan tegangan sisa, yang dapat mengurangi keandalan sambungan las dalam kondisi beban dinamis [10]. Sementara itu, elektroda E7018 (gambar 6) memberikan performa mikrostruktur paling stabil di daerah HAZ, bahkan pada arus tertinggi (110 A). Struktur mikro tetap didominasi oleh ferit halus dan perlit tipis dengan persebaran yang merata, tanpa gejala signifikan dari transformasi fase abnormal. Stabilitas ini didukung oleh komposisi fluks kaya kalsium yang membantu mengontrol difusi karbon dan mengurangi risiko pembentukan fase keras yang rentan retak. Oleh karena itu, elektroda E7018 menunjukkan ketahanan termomekanik terbaik di antara ketiga jenis elektroda tersebut. Secara keseluruhan, variasi kuat arus pengelasan memiliki dampak langsung terhadap karakteristik mikrostruktur HAZ, terutama dalam hal morfologi fase, ukuran butir, dan potensi degradasi material. Elektroda E7013 dan E7016 cenderung lebih sensitif terhadap fluktuasi energi panas, sedangkan E7018 menunjukkan ketahanan struktural yang lebih baik meskipun pada arus tinggi.



Gambar 4. Pengamatan struktur mikro HAZ baja ST 60 E7013 perbesaran 200x



Gambar 5. Pengamatan struktur mikro HAZ baja ST 60 E7016 perbesaran 200x



Gambar 6. Pengamatan struktur mikro HAZ baja ST 60 E7018 perbesaran 200x

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi elektroda E7018 variasi kuat arus 90 A menghasilkan kekuatan tarik tertinggi, yaitu rata-rata 370,5 MPa dan struktur mikro yang lebih stabil dan halus dibandingkan dengan elektroda lain. Struktur mikro pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) didominasi oleh ferit halus dan perlit tipis, secara signifikan meningkatkan stabilitas mekanis sambungan las. Namun, semua spesimen mengalami patahan di daerah HAZ, menunjukkan bahwa area ini merupakan titik kritis dalam sambungan las. Elektroda E7018 direkomendasikan untuk aplikasi industri karena stabilitas mekanis dan struktur mikro terbaik, bahkan pada kondisi arus tinggi. Peningkatan kuat arus cenderung menyebabkan pertumbuhan butir besar, yang dapat menurunkan homogenitas struktur mikro dan kualitas sambungan las. Penelitian ini terbatas untuk baja karbon sedang ST60 dengan metode pengelasan SMAW. Penelitian lanjutan, disarankan untuk mengeksplorasi penggunaan parameter pengelasan lain seperti variasi laju pendinginan, jenis material baja dengan komposisi kimia berbeda, serta metode pengelasan modern seperti Gas Metal Arc Welding (GMAW) atau Tungsten Inert Gas (TIG). Selain itu, analisis tambahan seperti uji impak dan kekerasan dapat dilakukan untuk memberikan gambaran lebih komprehensif tentang kualitas sambungan las. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman terhadap optimasi parameter pengelasan dan aplikasinya pada material lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rozi, F. (2024). The effect of welding current on the mechanical properties of ST60 steel in the SMAW welding process. *Journal of Mechanical Engineering and Fabrication*, 1(1), 20-24.
- [2] Budiarto, U., & Manik, P. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Variasi Temperatur Preheat Pada Pengelasan Smaw Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Tekuk Baja St 60. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(1).
- [3] Galih, G. W., Albab, S. A., Abdullah, B. S., & Wijanarko, A. D. (2024). Analisis Pengujian Bahan Material Baja Menggunakan Metode Las Terhadap Gerakan Elektroda: Literature Review. *Tiekom: Scientific Research Journal*, 1(1), 1-10.
- [4] Laksana, A. H., Himawan, C. U. S. B. K., Astono, M., & Basuki, Y. B. P. Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan SMAW pada Stainless Steel 304 Menggunakan Elektroda E308.
- [5] Akbar, N. A. (2024). Analisa Kekuatan Arus Pengelasan Smaw Pada Baja St37 Dengan Elektroda E6013 Menggunakan Metode Pengujian Tarik (Doctoral Dissertation, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara).
- [6] Pratama, O. Y., & Yunus, Y. (2024). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Dan Diameter Elektroda Metode Pengelasan Smaw Pada Material Stainless Steel 304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Bending. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(02), 7-16.
- [7] Dermawan, R. (2024). Analisis Sifat Mekanik Pada Material Baja St 60 Hasil Pengelasan Tungsten Inert

Gas (Tig) Kampuh V Tunggal (Doctoral Dissertation, Universitas Malikussaleh).

- [8] Azhari, A., Hamdani, H., & Mawardi, M. (2025). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Smaw Pada Material ST 60 Terhadap Hasil Pengujian Kekerasan Dan Ketangguhan. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 9(1), 17-22
- [9] Hidayat, M. N., & Muddin, S. (2024). Analisis Cacat Sambungan Pengelasan Smaw 3g Pada Pelat Baja St 60 Dengan Variasi Arus Menggunakan Metode Ndt (Nondestructive Test) Ultrasonic Test Dan Penetran Test. *Al-Gazali Journal of Mechanical Engineering (Ajme)*, 3(02), 50-59.
- [10] Sembiring, B. I., Budiarto, U., & Manik, P. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Posisi Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Material Baja Karbon Sedang. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(2).