JOURNAL BEARINGS: BORNEO MECHANICAL ENGINEERING AND SCIENCE P-ISSN: 2964-1462
VOLUME 5 NUMBER 1, Agustus 2026 E-ISSN: 2964-1500

Analisis Pengaruh Elektroda Pengelasan SMAW Pada Sambungan Las Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Tarik Dan Metalografi

Mochammad Noor Fazri Fahrezy[1], Marhadi Budi Waluyo[2], Shinta Tri Kismanti[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan
E-mail: [1]Mhmmdnoorfazri@gmail.com, [2] marhadibw@borneo.ac.id,
[3]shintatri88@borneo.ac.id
*Corresponding author**

ABSTRACT

This study investigates the effect of electrode variations in the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process on the mechanical properties and microstructural characteristics of low-carbon steel. The research focuses on comparing the performance of E7016 and E7018 electrodes. These electrodes are widely used in construction and manufacturing industries. An experimental laboratory method was employed using 8 mm thick low- carbon steel specimens. Welding was performed using a single V- groove joint with a 60° angle in the flat (1G) position at a welding current of 90 A. The welded joints were evaluated using non-destructive testing (liquid penetrant) to detect surface defects. Destructive testing included tensile testing based on ASTM A370-23 and metallographic analysis. The results show that electrode variation significantly affects tensile strength. The E7016 electrode produced a higher average tensile strength of 135 MPa compared to 117 MPa for E7018. Minor defects such as porosity and undercut were detected. These remained within acceptable limits. Metallographic observation revealed coarser grain structures in the weld metal and Heat Affected Zone (HAZ) compared to the base metal. This is due to thermal cycles during welding. It can be concluded that, under the parameters used in this study, the E7016 electrode is more suitable for applications prioritizing tensile strength in low-carbon steel.

Keywords: SMAW, Low Carbon Steel, Electrode, Tensile Test, Metallography

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi elektroda pada proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap sifat mekanik dan karakteristik struktur mikro baja karbon rendah. Fokus penelitian diarahkan pada perbandingan kinerja elektroda E7016 dan E7018 yang banyak diaplikasikan dalam industri konstruksi dan manufaktur. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan material baja karbon rendah berketebalan 8 mm. Proses pengelasan dilakukan menggunakan kampuh V tunggal dengan sudut 60° pada posisi datar (1G) dan arus pengelasan sebesar 90 Ampere. Pengujian hasil las meliputi pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test*) menggunakan metode *liquid penetrant* untuk mendeteksi cacat permukaan, serta pengujian merusak (*Destructive Test*) berupa uji tarik berdasarkan standar ASTM A370-23 dan uji metalografi untuk mengamati struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi elektroda berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Elektroda E7016 menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-

rata sebesar 135 MPa, lebih tinggi dibandingkan elektroda E7018 yang memperoleh rata-rata 117 MPa. Hasil uji penetran menunjukkan adanya cacat minor berupa porositas dan undercut pada kedua spesimen, namun masih dalam batas toleransi yang diizinkan. Pengamatan metalografi memperlihatkan perubahan ukuran butir pada daerah *weld metal* dan *Heat Affected Zone* (HAZ) yang cenderung lebih kasar dibandingkan *base metal* akibat siklus termal selama proses pengelasan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa untuk aplikasi yang memprioritaskan kekuatan tarik pada baja karbon rendah dengan parameter pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini, elektroda E7016 lebih direkomendasikan.
Kata Kunci: SMAW, Baja Karbon Rendah, Elektroda, Uji Tarik, Uji Metalografi

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi saat ini mencakup berbagai sektor, termasuk bidang pengelasan. Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang dilakukan dengan mencairkan logam dasar dan logam pengisi. Teknik ini diterapkan dalam berbagai keperluan, seperti mengisi celah pada coran, membentuk lapisan keras pada alat, menebalkan bagian yang mengalami keausan, serta untuk berbagai jenis perbaikan lainnya. Penggunaan teknologi las semakin meluas karena struktur bangunan dan mesin yang dihasilkan dengan teknik ini lebih ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatannya. Berbagai proses pengelasan telah dikembangkan, antara lain *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Submerged Arc Welding* (SAW), dan *Friction Welding*. Di antara semua metode tersebut, *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) adalah salah satu yang paling banyak digunakan karena proses ini menawarkan fleksibilitas maksimum dan kemampuan untuk mengelas berbagai jenis logam (Kholiq, 2024). Metode SMAW dikenal sebagai proses pengelasan manual yang dilakukan dengan tangan dan relatif mudah. Popularitasnya di kalangan praktisi pengelasan disebabkan oleh tingkat kemudahan yang ditawarkannya. Namun, kualitas hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti arus listrik, ketebalan logam, jenis elektroda, dan teknik kampuh yang digunakan. Penelitian Leonard dkk, menunjukan perbedaan kekuatan tarik dari dua jenis elektroda yang berbeda. Jenis elektroda E7016 menunjukan nilai kuat tarik tertinggi 43,33 kgf/mm^2 dan jenis elektroda E6013 di urutan kedua yaitu 33,02 kgf/mm^2. material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja ST41[1]. Penelitian lain juga menunjukan tidak hanya elektroda yang mempengaruhi nilai kekuatan sambungan las. arus pada pengelasan SMAW juga mempengaruhi kekuatan meknik sambungan las. Dalam penelitian Tita dkk menunjukan hasil analisa variasi arus pada proses pengelasan SMAW terbbukti berpengaruh signifikan terhadap nilai dan distribusi kekerasan sambungan las baja SS400 menggunakan elektroda E7018.[2] Nilai kekerasan tertinggi secara konsisten teridentifikasi pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) jika dibandingkan dengan logam induk dan logam las. Penggunaan arus pengelasan sebesar 95 A menghasilkan distribusi kekerasan yang paling optimal, dengan nilai rata-rata sebesar 198,1 VHN pada logam induk, 231,6 VHN pada HAZ, dan 206,4 VHN pada logam las. Kesalahan dalam proses pengelasan dapat terjadi akibat tidak diterapkannya prosedur pengelasan secara tepat. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan kesalahan tersebut antara lain penggunaan arus pengelasan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, kecepatan pengelasan yang tidak sesuai dengan besar arus, pemilihan elektroda yang kurang tepat,

serta pengaturan sudut dan panjang busur (arc length) antara elektroda dan material yang tidak sesuai. Kondisi tersebut dapat menimbulkan berbagai bentuk diskontinuitas atau cacat las, seperti retak (crack), porositas (porosity), peleburan tidak sempurna (incomplete fusion), takik las (undercut), retak pada kawah las (crater crack), serta percikan las (spatter). Untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi cacat yang terjadi, diperlukan inspeksi terhadap hasil pengelasan dengan mengacu pada standar AWS D1.1 Tabel 6.1 sebagai kriteria penerimaan (acceptance criteria). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan inspeksi hasil pengelasan adalah pengujian tidak merusak (Non-Destructive Testing/NDT) menggunakan metode dye penetrant. Metode Liquid Penetrant Testing (LPT) merupakan salah satu metode NDT yang relatif sederhana serta memiliki keunggulan dalam mendeteksi diskontinuitas yang terdapat pada permukaan material secara cepat dan akurat[3]. Pada tahun 2024 Ichan Kholiq telah melakukan penelitan pada sambungan Las dengan jenis las SMAW. penelitian yang dilakukan hanya berfokus pada jenis kampuh pada sambungan las. Citra pada uji mikro menunjukan kampuh V memiliki karakter penetrasi yang lebih baik dari pada kampuh I. dalam penelitian ini dilanjutkan dengan memvariasikan dua jenis elektroda. Hasil pengelasan akan diuji hasil lasan dengan liquid penetrant test dan uji Tarik.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen pada material baja karbon rendah tebal 8 mm. Proses pengelasan dilakukan dengan metode SMAW menggunakan elektroda E7016 dan E7018 diameter 3,2 mm, kampuh V 60°, posisi 1G, dan arus 90 A. Setelah pengelasan dilakukan pengujian penetrant untuk mendeteksi cacat permukaan, pengujian tarik sesuai standar ASTM A370-23, serta pengamatan struktur mikro pada daerah base metal, HAZ, dan weld metal menggunakan mikroskop metalografi pembesaran 200×. Data dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Hasil dari pengelasan kemudian akan dilakukan pengujian dengan 3 metode yaitu uji *penetrant test*, uji tarik, dan uji metalografi. Berikut Gambar 3 menunjukan sampel yang telah di las menggunkan 2 elektroda yang berbeda dan plat yang tidak di las. Kemudian dari sampel tersebut pertama akan di uji *uji penetrant* kemudian setelah itu dirubah untuk dijadikan spesimen uji tarik dan uji metalografi.

Gambar 3. Spesimen Hasil Pengelasan SMAW (a) E7016, (b) E7018

Uji Penetrant Sebelum dilakukan pegujian tarik, seluruh hasil pengelasan dilakukan uji penetrant untuk mengtahui cacat pada permukaan. Adapun langkah-langkah uji penetrant sebagai berikut. Mempersiapkan alat dan bahan, Mempersiapkan benda uji, *Pre cleaning,*

Pengaplikasian *liquid penetrant,* Pembersihan Sisa *Liquid Penetrant* di Permukaan, Pengaplikasian cairan Developer. gambar 4. menunjukan bahan yang digunakan pada pengujian Penetrant menggunakan .

Gambar 4. Bahan *Penetrant Test*

Setelah uji penetrant dilakukan, spesiman akan di Uji tarik Tujuan dari pengujian tarik yaitu, untuk mengetahui kekuatan tarik dari masing-masing hasil pengelasan. Dalam analisa data menggunakan beberapa persamaan, beberapa persamaan yang digunakan yaitu.

Tegangan tarik maksimum

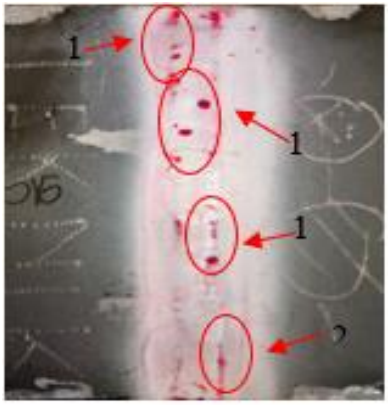
$$Q = \frac{F}{A} \qquad (2.1)$$

Keterangan:
F : Gaya (N)
A : Luas Penampang (m^2)
Q : Tegangan (N/m^2 atau pa)

Uji penetrant dan uji tarik dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Borneo Tarakan. Persiapan spesimen dilakukan di Laboratorium Manufaktur. Uji penetran dilakukan lebih dulu kemudian uji tarik.

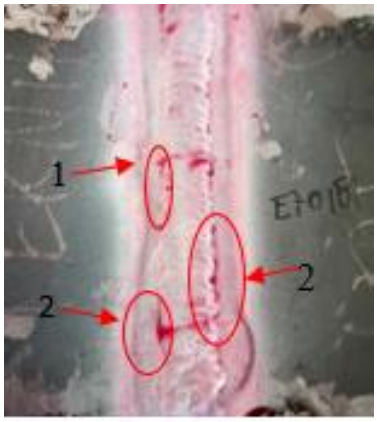
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Uji *Penetrant*
Hasil penelitian *penetrant test* pada pengelasan dengan elektroda E7016 dan E7018 pada baja karbon rendah menunjukan adanya beberapa cacat yang terdekteksi melalui pengujian *penentrant test*. Berdasarkan hasil uji pada gambar 5. terdapat dua jenis cacat utama yang terdeteksi pada pengelasan menggunakan elektroda E7016 yaitu porositas terbuka (*open porosity*), dan (*undercut* ringan), berikut Gambar 5, hasil uji *penetrant test* pengelasan elektroda E7016.



Gambar 5. Hasil Uji Pentrant E7016

Setelah dilakukan pengujian *penetrant test* pada hasil pengelasan menggunakan elektroda E7016 pada Gambar 5, diperoleh data visual yan menunjukan adanya indikasi ketidaksempurnaan pada permukaan las. Hasil pengamatan ini menjadi dasar untuk melakukan analisis lebih lanjut terhadap kualitas sambungan dan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengelasan. Cacat Porisitas Terbuka (*Open Porosity*) Berdasarkan hasil pengujian *penetrant test* pada pengelasan menggunakan elektroda E7016, teridentifikasi 2 jenis ketidak sempurnaan pada hasil las. Terdapat cacat yang paling dominan adalah porositas terbuka, yang munculnya titik-titik merah kecil pada jalur las yang ditunjukan pada nomor 1. Kondisi ini menunjukan adanya gelembung gas yang terperangkap dan terbuka ke permukaan selama proses pembekuan logam las, yang kemungkinan disebabkan oleh kelembapan elektroda, permukaan logam yang kotor, atau arus pengelasan yang terlalu rendah. Cacat *undercut* di sisi lain, tampak pula *undercut* di tepi jalur las dapat dilihat pada nomor 2, yang menandakan adanya alur halus akibat arus pengelasan berlebih atau sudut elektroda yang kurang tepat.

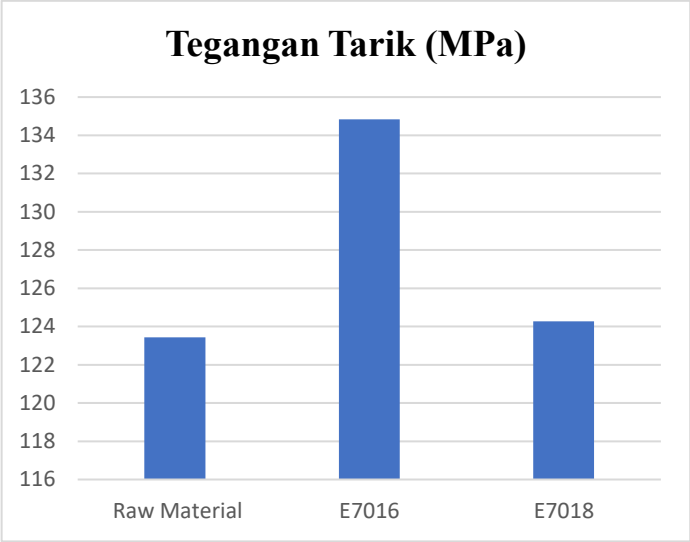


Gambar 6. Hasil Uji *Pentrant* E7018

Setelah dilakukan pengujian *penetrant test* pada hasil pengelasan menggunakan elektroda E7016 pada Gambar 6, diperoleh data visual yan menunjukan adanya indikasi ketidaksempurnaan pada permukaan las. Hasil pengamatan ini menjadi dasar untuk melakukan analisis lebih lanjut terhadap kualitas sambungan dan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengelasan. Berdasarkan hasil pengujian *penetrant test* pada pengelasan menggunakan elektroda E7016, teridentifikasi 2 jenis ketidak sempurnaan pada hasil las. Terdapat cacat yang paling dominan adalah porositas terbuka, yang munculnya titik-titik merah kecil pada jalur las

yang ditunjukan pada nomor 1. Kondisi ini menunjukan adanya gelembung gas yang terperangkap dan terbuka ke permukaan selama proses pembekuan logam las, yang kemungkinan disebabkan oleh kelembapan elektroda, permukaan logam yang kotor, atau arus pengelasan yang terlalu rendah.Cacat *undercut* di sisi lain, tampak pula *undercut* ringan di tepi jalur las dapat dilihat pada nomor 2, yang menandakan adanya alur halus akibat arus pengelasan berlebih atau sudut elektroda yang kurang tepat. Hasil pengamatan pada spesimen menunjukkan bahwa indikasi cacat yang muncul tidak masuk dalam kategori cacat kritis, sehingga tidak mempengaruhi kelayakan sambungan las. Oleh karena itu, sambungan las dapat diklasifikasikan sebagai *acceptable (ACC)* dan memenuhi syarat untuk melanjutkan ke tahap pengujian berikutnya. Hal ini sejalan dengan penjelasan AWS bahwa setiap cacat hanya dinyatakan tidak diterima apabila melewati batas ukuran, panjang, atau distribusi yang telah ditetapkan pada *Acceptance Criteria*. *American Welding Society*. [4]

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap dua variabel (E7016 dan E7018), diperoleh data tegangan tarik dan regangan. hasil pengujian disajikan dalam grafik. Berdasarkan data hasil pengujian tegangan tarik yang di sajikan pada gambar7, grafik persentase tegangan tarik, dapat diketahui bahwa spesimen uji tarik yang menggunakan elektroda E7016 menunjukan nilai tegangan tarik tertinggi dibandingkan dengan kelompok spesimen lainnya, yaitu dengan nilai rata-rata 135 Mpa, Nilai ini menggambarkan bahwa sambungan las menggunakan elektroda E7016 memiliki kualitas mekanis yang lebih baik dalam menahan beban tarik.[5]



Gambar 7. Diagram Tegangan Tarik

Sementara itu, spesimen yang dilas menggunakan elektroda E7018 justru menunjukan nilai kekuatan tarik paling rendah, dengan rata-rata sebesar 117 Mpa, hal ini mengindikasikan bahwa hasil tegangan tarik dengan elektroda E7018 pada kondisi penelitian ini kurang optimal jika dibandingkan dengan elektroda E7016.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian dan analisa data yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil pengujian *liquid penetrant test* menunjukkan bahwa kedua jenis elektroda menghasilkan sambungan las yang relatif bebas dari cacat permukaan yang signifikan.

Hal ini menandakan bahwa parameter pengelasan dan prosedur yang digunakan telah sesuai dan mampu menghasilkan kualitas las yang baik secara visual dan permukaan.

2. Pada hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa sambungan las dengan elektroda E7016 memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 135 MPa dan modulus elastisitas sebesar 164,23 GPa, lebih tinggi dibandingkan elektroda E7018 dan *raw material*, yang menandakan kemampuan menahan beban tarik serta tingkat kekakuan yang lebih besar.
3. Sebaliknya, elektroda E7018 menghasilkan nilai regangan tarik yang lebih tinggi sebesar 10% dibandingkan E7016 sebesar 8%, yang menunjukkan tingkat keuletan yang lebih baik. Perbedaan sifat mekanik tersebut dipengaruhi oleh karakteristik *fluks d*an komposisi kimia elektroda, di mana elektroda E7018 dengan kandungan *low hydrogen* dan *iron powder* cenderung meningkatkan keuletan logam las, sedangkan elektroda E7016 menghasilkan sambungan las yang lebih kaku dan kuat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Leonard Fandy Tuwo, Benyamin Tangaran, and Kristiana Pasau, “Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 41 Hasil Pengelasan SMAW,” *Paulus Mechanical Engineering Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 9–13, Mar. 2025.

[2] Tita Nurhalisa Potale, Ivan Junaidy Abdul Karim, and Kifli Umar, “Analisis Pengaruh Variasi Bentuk Kampuh dan Tegangan Arus Listrik pada Penyambungan Baja Kontruksi WFF dengan Metode Pengelasan SMAW,” *DINAMIKA JURNAL TEKNIK MESIN UNKHAIR*, vol. 5, no. 2, pp. 35–39, Oct. 2020.

[3] P. J. H. Siagian, N. L. Arifin, N. Ulfah, and H. Widiastuti, “Inspeksi Hasil Sambungan Pengelasan SMAW pada Pembuatan Frame Acid Skid dengan Metode Liquid Penetrant Testing,” *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, vol. 4, no. 1, pp. 28–33, Jun. 2022, doi: 10.30871/jatra.v4i1.4014.

[4] “American Welding Society ® AWS D1.1/D1.1M:2015 An American National Standard Structural Welding Code-Steel.” [Online]. Available: www.aws.org

[5] T. Endramawan and A. Sifa, “Non Destructive Test Dye Penetrant and Ultrasonic on Welding SMAW Butt Joint with Acceptance Criteria ASME Standard,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 306, p. 012122, Feb. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/306/1/012122.