

PENGARUH VARIASI ELEKTRODA AWS E 7016 DAN KUAT ARUS *SHIELDED METAL ARC WELDING* TERHADAP UJI MEKANIS BAJA ST 42

The effect of AWS E 7016 Electrode Variations and Shielded Metal Arc Welding Current on the Mechanical Testing of ST 42 Steel

Daffa Yulika Firmansyah, Tris Sugiarto

Program Studi S1 Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

Jl.Semungkir No. 1 Purwokerto

E-Mail: daffayulikafirmansyah@gmail.com

Abstract

Welding is an essential process in the industrial field, as it joins metals with adequate strength and durability. One commonly used method is Shielded Metal Arc Welding (SMAW) with E7016 electrodes, which are suitable for welding low-carbon steel such as ST 42. The quality of the welded joint largely depends on process parameters, particularly the welding current and electrode diameter. Improper parameter selection may lead to weld defects and reduced joint strength. This study aims to investigate the effect of welding current and electrode diameter variations in the SMAW process on the mechanical properties of the weld metal, particularly the tensile strength of ST 42 steel, and to determine the optimal combination of parameters that produces the highest tensile strength. ST 42 steel was chosen due to its widespread use in construction, where weld quality plays a crucial role in ensuring structural safety. The materials used in this study included low-carbon ST 42 steel as the base metal and E7016 electrodes with three diameters—2.6 mm, 3.2 mm, and 4.0 mm. Supporting equipment consisted of an SMAW welding machine, a tensile testing machine, and metallographic equipment such as an optical microscope for microstructural observation. The research method employed was an experimental laboratory approach. The specimens were prepared according to tensile test standards and welded using different combinations of current and electrode diameter. Welding currents of 80 A, 100 A, and 120 A were applied with electrode diameters of 2.6 mm, 3.2 mm, and 4.0 mm. After welding, the specimens underwent tensile testing to measure the maximum tensile strength and microstructural analysis to examine changes in the weld metal, base metal, and heat-affected zone (HAZ). The experimental results were then analyzed to determine the relationship between process parameters and the resulting tensile strength. The results showed that both welding current and electrode diameter significantly influenced the tensile strength of the weld metal. The highest tensile strength was obtained using a 2.6 mm E7016 electrode at 160 A, indicating that this combination represents the most optimal parameter setting under the tested conditions.

Keywords: SMAW Welding, Current, Electrode, Tensile Strength

1. Latar Belakang

Dalam industri manufaktur maupun konstruksi, proses penyambungan logam menjadi salah satu tahapan yang sangat penting untuk menjamin kekuatan dan keandalan struktur. Salah satu metode penyambungan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan (welding), karena mampu menghasilkan ikatan permanen yang kuat antara dua logam¹. Di antara berbagai metode pengelasan, *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) merupakan teknik yang paling populer karena peralatannya sederhana, fleksibel, serta dapat digunakan pada berbagai jenis logam dan posisi pengelasan (Rao & Parameshwar, 2020). Elektroda jenis AWS E7016 sering digunakan dalam proses ini karena memiliki lapisan fluks rendah hidrogen yang mampu menghasilkan sambungan las berkualitas tinggi, tahan terhadap retak, dan cocok untuk baja karbon rendah seperti ST 42.

Kualitas sambungan hasil pengelasan tidak hanya ditentukan oleh jenis elektroda, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh parameter proses, seperti kuat arus listrik, tegangan, dan

diameter elektroda . Dalam praktiknya, parameter tersebut sering kali ditentukan berdasarkan pengalaman operator, bukan hasil pengujian ilmiah yang terukur ². Hal ini menimbulkan ketidakkonsistenan dalam mutu hasil las, di mana sambungan dapat mengalami cacat seperti *porosity*, *undercut*, atau bahkan penurunan kekuatan mekanik . Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan (*gap*) antara teori yang menekankan pentingnya optimasi parameter pengelasan dengan kenyataan di lapangan yang masih bergantung pada pendekatan empiris.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter elektroda AWS E7016 dan kuat arus terhadap sifat mekanik baja ST 42. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh kombinasi parameter pengelasan yang paling optimal untuk menghasilkan sambungan yang kuat, homogen, dan bebas cacat, sehingga dapat menjadi acuan bagi pelaku industri maupun pendidikan dalam meningkatkan mutu hasil pengelasan SMAW

. Penyambungan logam dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya melalui proses pengelasan yang memanfaatkan energi panas dari busur listrik atau nyala gas ³. Di Indonesia, beberapa teknik yang banyak digunakan antara lain *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)* dengan elektroda berlapis fluks, *Gas Metal Arc Welding (GMAW / MIG)* menggunakan gas pelindung, *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW / TIG)* dengan elektroda tungsten dan gas inert, serta *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)* yang memakai kawat berinti fluks ⁴ . Pemilihan metode pengelasan biasanya ditentukan oleh karakteristik material, ketebalan benda kerja, serta tuntutan kekuatan sambungan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan *GTAW* mampu menghasilkan sambungan yang lebih halus dan memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan *SMAW*⁵ pada baja tahan karat tipe SS 201. Selain itu, berbagai jenis sambungan las yang umum diterapkan mencakup sambungan tumpul (*butt joint*), sambungan *T* (*tee joint*), sambungan sudut (*corner joint*), sambungan tumpang (*lap joint*), dan sambungan sisi (*edge joint*). Pemilihan jenis sambungan tersebut bergantung pada bentuk material, ketebalan, serta tujuan fungsional dari konstruksi logam yang akan dibuat.

2. Metode dan Bahan

a. Metode

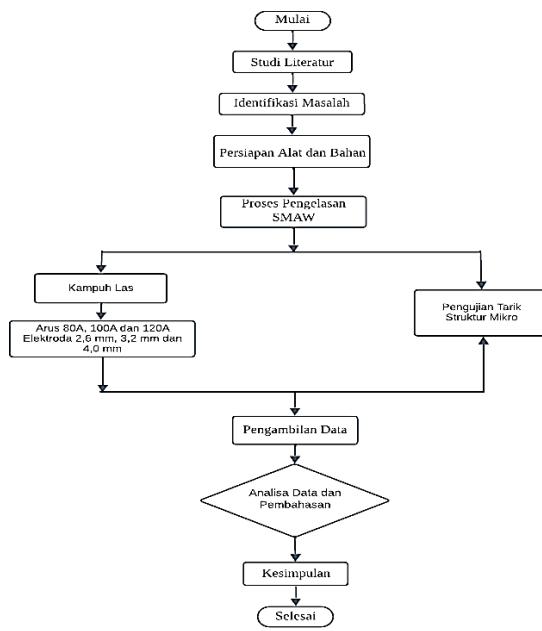
Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Penelitian ini dilakukan di laboratorium yang memiliki fasilitas dan peralatan memadai untuk menguji pengaruh variasi diameter elektroda E7016 (2,6 mm, 3,2 mm, dan 4,0 mm) serta arus pengelasan (80 A, 100 A, dan 120 A) terhadap kualitas hasil lasan. Selain itu, dilakukan juga pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan mekanik sambungan las, serta pengujian mikrostruktur guna melihat perubahan struktur butir logam pada daerah logam las, HAZ (Heat Affected Zone), dan logam induk akibat perbedaan parameter pengelasan yang digunakan.

b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST 42, yaitu jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan dalam konstruksi dan fabrikasi karena memiliki kekuatan yang cukup baik, mudah dilas, serta mampu menahan beban mekanik dengan baik ⁶.



Gambar 1 Baja ST 42



Gambar 2 Flowchart Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

A. Pengambilan Data

Data yang diukur pada saat penelitian didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel I. Hasil Pengukuran Uji Tarik

No	Diameter Elektroda		Tegangan (MPa)	Regangan (%)
	D	A		
1.	2,6	80	364,43	20,62
		100	403,65	23,20
		120	462,01	46,20
2.	3,2	80	262,51	14,30
		100	394,77	26,10
		120	395,28	26,70
3.	4,0	80	308,58	16,16
		100	247,72	12,04
		120	263,82	12,18

Sebelum melakukan perhitungan parameter yang dihasilkan berupa uji mekanis baja ST 42, maka perlu diketahui perhitungan sebagai berikut :

1. Tegangan tarik

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{L \times T}$$

Keterangan :

σ : Tegangan tarik (N/m^2)

F : Gaya (N)

A : Luas penampang (m^2)

2. Regangan

$$\sigma = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

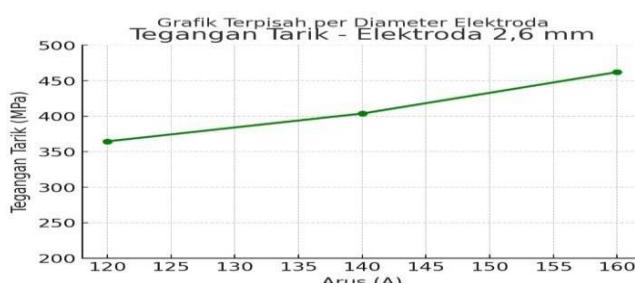
σ : Regangan (%)

L : Panjang Akhir (mm)

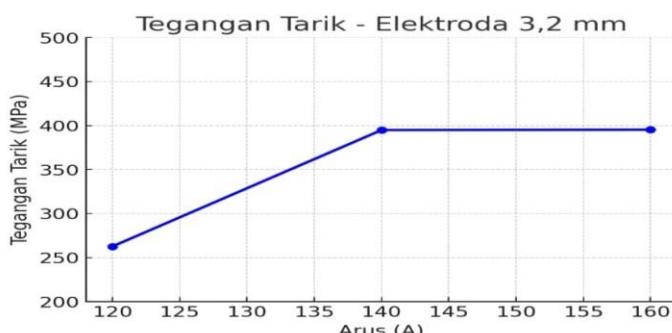
L_0 : Panjang Awal (mm)

B. Analisa Data Dan Pembahasan

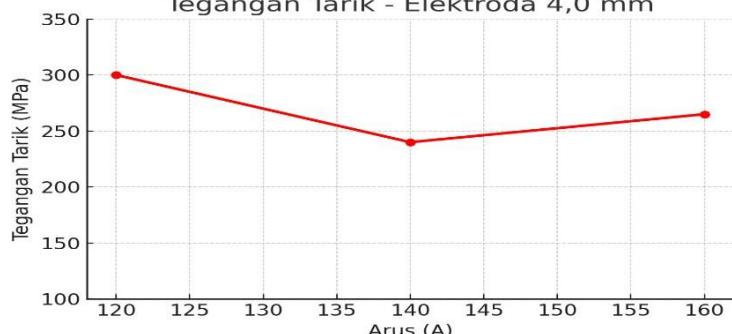
Setelah melakukan perhitungan diatas, maka bisa didapat analisa data dan pembahasan yang berupa tegangan tarik, regangan dan struktur mikro



Gambar 3 Grafik Pengujian Tarik Elektroda E 7016 Diameter 2,6 mm



Gambar 4 Grafik Pengujian Tarik Elektroda E 7016 Diameter 3,2 mm



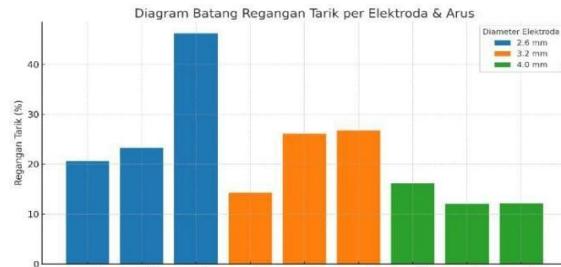
Gambar 5 Grafik Pengujian Tarik Elektroda E 7016 Diameter 4,0 mm



Gambar 6 Diagram Hasil Pengujian Tarik

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 ditunjukkan diagram batang yang menggambarkan hubungan antara variasi diameter elektroda dan arus listrik terhadap nilai tegangan tarik (MPa) pada spesimen baja karbon rendah ST 42 hasil pengelasan *SMAW*. Perbedaan ukuran elektroda ditandai dengan warna batang, yaitu hijau untuk elektroda berdiameter 2,6 mm, biru untuk elektroda berdiameter 3,2 mm, dan merah untuk elektroda berdiameter 4,0 mm. Dari diagram terlihat bahwa elektroda berdiameter 2,6 mm mampu menghasilkan tegangan tarik tertinggi, yaitu 462,01 MPa pada arus 120 A. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda berdiameter 2,6 milimeter mampu menghasilkan kekuatan tarik optimal apabila dipadukan dengan arus yang sesuai. Sementara itu, elektroda berdiameter 3,2 milimeter pada arus 120 amper memperlihatkan performa yang cukup stabil, dengan nilai kekuatan tarik sebesar 394,77 MPa pada arus 100 amper dan 395,28 MPa pada arus 120 amper. Oleh karena itu, elektroda ukuran ini dapat dikatakan paling efektif pada kisaran arus menengah hingga tinggi. Sebaliknya, elektroda berdiameter 4,0 mm justru menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah, dengan nilai tertinggi hanya 308,58 MPa pada arus 120 A, bahkan menurun hingga 263,82 MPa. Penurunan ini diduga akibat masukan panas berlebih yang memicu cacat las seperti porositas atau retak, sehingga kekuatan sambungan berkurang. Secara keseluruhan, pemilihan diameter elektroda dan arus yang tepat terbukti berpengaruh signifikan terhadap kualitas las. Kombinasi optimal pada penelitian ini diperoleh menggunakan elektroda 2,6 mm dengan arus 120 A, sedangkan elektroda 4,0 mm memerlukan penyesuaian parameter agar dapat mencapai hasil yang lebih baik.

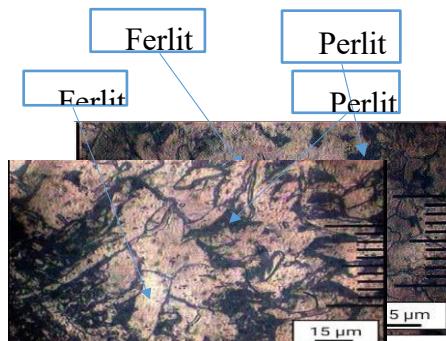
Hasil penelitian ini sejalan dengan jurnal ⁷ yang menunjukkan bahwa arus pengelasan optimal meningkatkan kekuatan sambungan, sedangkan arus berlebih menurunkannya. Pada penelitian Azwinur, kekuatan tarik tertinggi tercatat 454,54 MPa pada arus 100 A, sedangkan pada penelitian ini diperoleh 462,01 MPa pada elektroda 2,6 mm dan arus 120 A, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaturan arus dan diameter elektroda sangat berpengaruh terhadap kekuatan las.



Gambar 7 Diagram Batang Regangan Pengujian Tarik

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, terlihat bahwa penggunaan elektroda berdiameter 2,6 mm menunjukkan adanya peningkatan regangan seiring bertambahnya arus pengelasan. Pada arus 80 A regangan mencapai 20,62%, naik menjadi 23,20% pada 100 A, dan mencapai puncaknya sebesar 46,20% pada 120 A. Nilai tersebut merupakan yang tertinggi dibandingkan semua variasi, menandakan bahwa elektroda berdiameter kecil yang dikombinasikan dengan arus tinggi mampu menghasilkan sambungan yang plastis. Hal ini diduga karena distribusi panas lebih merata serta penetrasi las yang baik, sehingga logam lebih mudah mengalami deformasi sebelum patah. Untuk elektroda berdiameter 3,2 mm, regangan juga cenderung meningkat, dari 14,30% pada arus 80 A menjadi 26,10% pada 100 A, lalu sedikit bertambah menjadi 26,70% pada arus 120 A. Tren ini memperlihatkan bahwa rentang arus optimal untuk elektroda ukuran 3,2 mm adalah sekitar 100–120 A, karena pada titik ini kelenturan material mencapai kondisi terbaik. Namun, peningkatan arus di atas kisaran tersebut tidak lagi memberikan pengaruh yang berarti. Sebaliknya, elektroda berdiameter 4,0 mm memperlihatkan pola berbeda. Pada arus 80 A regangan tercatat 16,16%, lalu justru menurun menjadi 12,04% pada 100 A, dan sedikit naik menjadi 12,18% pada 120 A. Kondisi ini menunjukkan bahwa arus yang diberikan masih belum cukup sesuai bagi elektroda besar, sehingga sambungan yang dihasilkan cenderung kurang plastis dan lebih rapuh. Secara umum dapat disimpulkan bahwa variasi diameter elektroda dan arus berpengaruh nyata terhadap regangan tarik sambungan, dengan kombinasi terbaik diperoleh pada elektroda 2,6 mm pada arus 120 A.

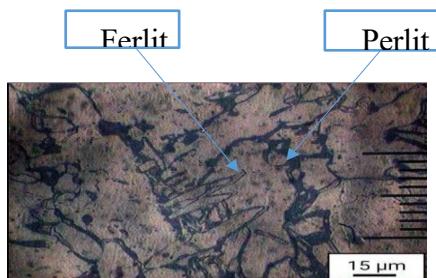
Hasil ini sejalan dengan jurnal ⁸ di mana regangan tertinggi mencapai 44,5% pada arus 110 A, sedangkan pada arus di atasnya terjadi penurunan akibat perubahan mikrostruktur dan masukan panas berlebih. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat temuan bahwa kombinasi elektroda 2,6 mm dengan arus 120 A menghasilkan regangan tertinggi sebesar 46,20%, yang menunjukkan keuletan dan plastisitas sambungan terbaik.



Gambar 8 Struktur Mikro Elektroda 2,6 mm 120 A Daerah HAZ 200x

Mengacu pada Gambar 8, masukan panas yang rendah mengakibatkan proses pendinginan logam las berlangsung lebih cepat, sehingga menghasilkan ukuran butir mikro yang lebih halus. Pada baja karbon rendah ST 42, struktur halus ini umumnya terdiri atas fasa ferit dan perlit yang mampu meningkatkan kekuatan tarik, meskipun cenderung menurunkan sifat keuletan material. Dengan kondisi tersebut, penggunaan elektroda berdiameter 2,6 mm menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan rapat, sehingga kekuatan tarik yang diperoleh relatif lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda berdiameter besar. Namun demikian, kestabilan busur pengelasan dengan elektroda kecil ini biasanya kurang maksimal.

Hasil ini sejalan dengan penelitian ⁹ yang menunjukkan bahwa semakin rendah arus pengelasan, semakin cepat proses pendinginan dan semakin halus ukuran butir yang terbentuk. Pada penelitian tersebut, arus 90 A menghasilkan struktur ferit dan perlit halus dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 175,6 HV, sedangkan arus yang lebih tinggi menimbulkan butiran kasar akibat pendinginan lambat. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan bahwa elektroda kecil (2,6 mm) dengan masukan panas rendah mampu membentuk struktur mikro halus dan meningkatkan kekuatan tarik sambungan las baja ST 42.



Gambar 9 Struktur Mikro Elektroda 3,2_120 A Daerah HAZ_200x

Mengacu pada Gambar 9, proses pendinginan yang berlangsung lebih lambat pada penggunaan elektroda berdiameter 3,2 mm menyebabkan terbentuknya butir logam las dan *heat affected zone* (HAZ) yang relatif lebih kasar dibandingkan dengan elektroda 2,6 mm. Meskipun struktur mikro masih didominasi oleh fasa ferit dan perlit, ukuran butir yang lebih besar cenderung menurunkan kekuatan tarik. Namun demikian, kondisi ini juga memberikan kestabilan sifat mekanik yang lebih baik. Selain itu, masukan panas yang lebih tinggi membantu memperkuat ikatan antarlogam serta mengurangi kemungkinan terbentuknya porositas, sehingga sifat mekanik yang dihasilkan lebih seimbang antara kekuatan dan keuletan. Oleh karena itu, pengelasan dengan elektroda 3,2 mm cenderung menghasilkan kualitas sambungan yang lebih stabil, meskipun nilai kekuatannya tidak setinggi hasil pengelasan menggunakan elektroda 2,6 mm.

Hasil ini sejalan dengan penelitian ¹⁰ yang menunjukkan bahwa peningkatan arus atau

masukan panas memperbesar ukuran butir mikro, sehingga kekerasan dan kekuatan tarik sedikit menurun, namun struktur menjadi lebih stabil. Pada penelitian tersebut, arus di atas 110 A menghasilkan kekerasan sekitar 160 HV, sedangkan arus rendah mencapai 178 HV. Hal ini memperkuat bahwa elektroda 3,2 mm dengan masukan panas sedang-tinggi menghasilkan struktur mikro stabil dan sifat mekanik seimbang, meskipun kekuatan tariknya tidak setinggi elektroda 2,6 mm.

Gambar 10 Struktur Mikro Elektroda 4,0_120 A Daerah HAZ_200x

Mengacu pada Gambar 10, struktur mikro pada logam las dan daerah HAZ dengan elektroda berdiameter 4,0 mm masih didominasi oleh fasa ferit dan perlit, namun ukuran butir yang terbentuk lebih kasar. Kondisi ini berdampak pada penurunan kekuatan tarik dibandingkan penggunaan elektroda dengan diameter lebih kecil, meskipun sedikit meningkatkan keuletan material. Selain itu, penggunaan elektroda besar berpotensi menimbulkan cacat pengelasan seperti porositas atau penetrasi yang kurang sempurna apabila arus dan teknik pengelasan tidak dikendalikan dengan baik. Walaupun elektroda jenis ini umumnya dipakai pada material yang lebih tebal, pada baja karbon rendah ST 42 hasilnya justru menunjukkan kekuatan tarik terendah. Sementara itu, pengamatan struktur mikro pada sambungan las dengan elektroda 2,6 mm pada variasi arus memperlihatkan bahwa arus 120 A memberikan hasil terbaik. Pada kondisi ini, distribusi fasa ferit dan perlit terlihat lebih seragam dengan ukuran butir yang lebih halus, menandakan pendinginan yang optimal selama proses pengelasan. Hal tersebut berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik dan ketangguhan material. Selain itu, tidak dijumpai cacat mikro seperti retakan atau segregasi kasar yang biasanya muncul akibat pendinginan yang terlalu cepat atau pemanasan berlebih. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi elektroda 2,6 mm dengan arus 120 A menghasilkan struktur mikro paling ideal untuk pengelasan baja karbon rendah ST 42.

Hasil ini sejalan dengan jurnal ¹¹ yang menyatakan bahwa semakin besar diameter elektroda dan arus pengelasan, ukuran butir akan semakin kasar sehingga kekuatan tarik menurun, sedangkan diameter kecil (2,6 mm) dengan arus optimal sekitar 120 A menghasilkan struktur mikro halus dan kekuatan tarik tertinggi sekitar 460 MPa. Dengan demikian, penelitian ini memperkuat bahwa kombinasi elektroda 2,6 mm dan arus 120 A merupakan parameter paling ideal untuk menghasilkan struktur mikro terbaik dan sambungan las berkualitas tinggi pada baja ST 42.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai pengaruh variasi diameter elektroda serta arus pengelasan terhadap struktur mikro hasil sambungan las baja karbon rendah ST 42, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian tarik pada sambungan las baja karbon rendah ST 42 dengan variasi diameter elektroda 2,6 milimeter, 3,2 milimeter, dan 4,0 milimeter pada arus 120 amper menunjukkan bahwa elektroda berdiameter 2,6 milimeter memberikan kekuatan tarik tertinggi. Kondisi ini dipengaruhi oleh penetrasi yang baik serta pendinginan cepat sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan kuat. Elektroda 3,2 milimeter menghasilkan nilai tarik yang stabil dan konsisten, mencerminkan keseimbangan antara masukan panas, pembentukan struktur mikro, dan sifat mekanik. Sebaliknya, penggunaan elektroda 4,0 milimeter memberikan kekuatan tarik paling rendah akibat masukan panas yang terlalu tinggi, yang menyebabkan pendinginan lebih lambat dan terbentuknya struktur mikro kasar dengan dominasi perlit yang cenderung getas.
2. Hasil pengamatan struktur mikro memperlihatkan bahwa penggunaan elektroda berdiameter 2,6 milimeter dengan arus 120 amper menghasilkan kualitas struktur mikro yang paling baik. Pada kondisi ini, fasa ferit dan perlit terbentuk secara merata dengan ukuran butir halus serta tidak ditemukan cacat mikro yang mencolok. Hal ini menegaskan bahwa arus 120 amper merupakan kondisi optimal untuk diameter elektroda tersebut. Pada elektroda 3,2 milimeter dengan arus yang sama, struktur mikro

di daerah HAZ menunjukkan dominasi fasa ferit berbentuk butiran terang yang menyebar luas, sementara perlit hanya sedikit muncul di batas-batas butir ferit. Keadaan ini mencerminkan proses pendinginan yang tidak terlalu cepat, sehingga menghasilkan struktur ferit yang cenderung lebih kasar. Sebaliknya, penggunaan elektroda berdiameter 4,0 milimeter pada arus 120 amper menunjukkan struktur mikro yang lebih banyak didominasi oleh fasa perlit, yang tampak sebagai area gelap dengan sedikit ferit di sekitarnya. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa masukan panas yang lebih besar memperlambat pendinginan dan mendorong pembentukan perlit dalam jumlah lebih banyak.

Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menambah variasi arus dan diameter elektroda untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif.
2. Sebaiknya dilakukan pengujian sifat mekanik seperti uji tarik dan uji kekerasan untuk mendukung analisis struktur mikro.
3. Gunakan alat pengamatan dengan resolusi lebih tinggi agar hasil struktur mikro lebih detail dan akurat.

Daftar Pustaka

- [1] A. Pratama, O. Y., & Yunus, Y. (2024) : “ANALISA PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN DIAMETER ELEKTRODA METODE PENGELASAN SMAW PADA MATERIALL STAINLES STEELL 304 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN BENDING”
- [2] Armika, I. P., Nugraha & Widayana (2025). “Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Material Baja ST 42”
- [3] Azwinur Azwinur, Saifuddin A. Jalil, Asmaul Husna (2017) : “Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW”
- [4] Azwinur1, Adi Saputra Ismy1, Rizky Nanda1, Ferdiyansyah2 (2017) : “ Pengaruh arus pengelasan SMAW terhadap kekuatan sambungan las double lap joint pada material AISI 1050”
- [5] Fauzan, M. R. (2021). “Analisis Struktur Mikro Hasil Las SMAW pada Baja ST 42 dengan Variasi Arus”.
- [6] Handoko, T. (2018). “Analisis Pengaruh Arus Pengelasan SMAW terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah. Jurnal Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta”.
- [7] Ichlas Wahid dkk (2022) : “Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro Baja ST 60 hasil Pengelasan SMAW dengan Variasi Arus Las dan Temperatur PWHT”
- [8] Ichlas Wahid, Ismail, Zainun, Eko Yulianto dkk. (2022). “Pengaruh Kuat Arus dan Diameter Elektroda Jenis RB-26 pada Pengelasan SMAW Baja ST 42 terhadap Sifat Mekanis. MEKANIKA: Jurnal Teknik Mesin.”
- [9] Putra, H. R. (2020). “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Baja ST 42. Jurnal Rekayasa Mesin”.
- [10] Surojo, E., & Susilowati, T. (2013). “Analisis Mikrostruktur dan Kekerasan pada Sambungan Las SMAW dengan Variasi Arus. Jurnal Teknik Mesin Universitas Brawijaya”
- [11] Tjalimi, A. (2018). “Pengaruh Arus dan Diameter Elektroda terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Las SMAW pada Baja Karbon. Jurnal Teknik Mesin.”