

OPTIMASI PARAMETER PENGELASAN SMAW 1G TERHADAP KEKUATAN UJI BENDING MATERIAL ASTM A36

Firdo Andanofrio *¹
Imran ²

^{1,2} Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bengkalis

*e-mail: firdo110118@gmail.com imran@polbeng.ac.id

Abstrak

Penelitian ini membahas optimasi parameter pengelasan SMAW 1G terhadap kekuatan uji bending material baja ASTM A36. Variasi parameter yang diteliti meliputi arus pengelasan (90A, 110A, 130A) dan jenis elektroda (E6013, E7016, E7018). Pengujian dilakukan menggunakan metode bending tiga titik, sedangkan rancangan percobaan menggunakan metode Taguchi dengan orthogonal array L9. Analisis data dilakukan dengan perhitungan Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio) menggunakan kriteria Larger is Better serta uji variansi (ANOVA) untuk mengetahui kontribusi masing-masing parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi arus dan elektroda memengaruhi kekuatan bending sambungan las. Kombinasi terbaik diperoleh pada arus 130A dengan elektroda E7018, dengan nilai kekuatan bending rata-rata tertinggi sebesar 14,76 kN, sedangkan nilai terendah terdapat pada arus 110A dengan elektroda E7018 sebesar 12,95 kN. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa faktor arus memberikan kontribusi lebih besar terhadap hasil pengujian dibandingkan elektroda, masing-masing sebesar 29,75% dan 8,74%. Dengan demikian, penggunaan arus tinggi dan elektroda E7018 direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk menghasilkan sambungan las SMAW 1G pada material ASTM A36.

Kata Kunci: ANOVA, ASTM A36, bending, elektroda, pengelasan, SMAW, Taguchi

Abstract

This study investigates the optimization of SMAW 1G welding parameters on the bending strength of ASTM A36 steel. The welding parameters examined include welding current (90A, 110A, 130A) and electrode types (E6013, E7016, E7018). The specimens were tested using the three-point bending method, while the experimental design was based on the Taguchi method with an L9 orthogonal array. Data analysis was carried out using the Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio) with the Larger is Better criterion and analysis of variance (ANOVA) to determine the contribution of each factor. The results indicate that both current and electrode variations affect the bending strength of welded joints. The optimal combination was obtained at 130A using electrode E7018, which produced the highest average bending strength of 14.76 kN, while the lowest value was recorded at 110A with electrode E7018, reaching 12.95 kN. ANOVA results revealed that current contributed more significantly than electrode type, with contributions of 29.75% and 8.74%, respectively. Therefore, the use of high current and electrode E7018 is recommended as the optimal parameter to achieve strong SMAW 1G welded joints on ASTM A36 steel.

Keywords: ANOVA, ASTM A36, bending, electrode, SMAW, Taguchi, welding

PENDAHULUAN

Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan salah satu metode pengelasan yang paling banyak digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena fleksibilitas, kemudahan operasi, serta biaya yang relatif rendah. Kualitas sambungan hasil pengelasan sangat dipengaruhi oleh parameter proses, seperti arus listrik, jenis elektroda, dan posisi pengelasan. Pengaturan parameter yang tepat akan meningkatkan kekuatan sambungan, ketahanan terhadap deformasi, serta meminimalkan cacat las.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah ASTM A36, yaitu baja struktural yang umum dipakai pada konstruksi dan rangka kendaraan. ASTM A36 dipilih karena memiliki sifat mekanik yang baik, mudah dikerjakan, serta dapat dilas dengan berbagai metode tanpa

perlakuan khusus. Dalam penelitian ini, posisi pengelasan yang digunakan adalah 1G dengan kampuh V groove, yang memungkinkan penetrasi lebih baik pada material dengan ketebalan sedang.

Evaluasi kualitas sambungan las dilakukan menggunakan uji bending, yang mampu menunjukkan kemampuan sambungan menahan beban lentur hingga mengalami deformasi atau patah. Untuk menentukan parameter pengelasan yang optimal, penelitian ini menerapkan metode Taguchi dengan orthogonal array L9, sehingga dapat mengevaluasi pengaruh variasi arus dan elektroda secara lebih sistematis dan efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus dan jenis elektroda terhadap kekuatan bending sambungan las baja ASTM A36 serta menentukan kombinasi parameter pengelasan SMAW 1G yang paling optimal. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengelasan di bidang akademik maupun sebagai acuan praktis bagi industri, khususnya dalam penerapan pengelasan struktural.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada material baja karbon ASTM A36 dengan dimensi spesimen 300 mm × 30 mm × 10 mm. Sambungan las dibuat menggunakan kampuh V groove dengan sudut 60° pada posisi pengelasan 1G. Pemilihan kampuh V groove dilakukan untuk memastikan penetrasi yang baik pada material dengan ketebalan sedang. Proses pengelasan dilakukan menggunakan mesin SMAW dengan variasi arus 90A, 110A, dan 130A, serta tiga jenis elektroda standar AWS yaitu E6013, E7016, dan E7018 berdiameter 3,2 mm. Pengelasan dilakukan oleh welder yang sama untuk menjaga konsistensi, dengan penerapan *root gap* guna mempermudah proses pengisian las.

Spesimen hasil pengelasan selanjutnya diuji menggunakan metode bending tiga titik (*three-point bending test*). Pada pengujian ini, spesimen ditempatkan di atas dua tumpuan dengan jarak tertentu, kemudian diberi beban tekan pada bagian tengah hingga mengalami deformasi atau patah. Data berupa beban maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen dicatat untuk dianalisis sebagai kekuatan lentur sambungan.

Rancangan percobaan dalam penelitian ini menggunakan metode Taguchi dengan orthogonal array L9. Metode ini dipilih karena mampu mengevaluasi pengaruh faktor utama terhadap kualitas hasil las dengan jumlah percobaan yang lebih efisien. Dua faktor yang diuji adalah arus listrik dan jenis elektroda, masing-masing terdiri dari tiga level. Dengan rancangan ini, diperoleh sembilan kombinasi parameter yang diuji melalui pengelasan dan pengujian bending.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) dengan kriteria *Larger is Better*, sehingga kombinasi parameter yang menghasilkan kekuatan bending tertinggi dapat diidentifikasi. Selain itu, dilakukan analisis variansi (ANOVA) untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor terhadap kekuatan sambungan las serta tingkat signifikansinya. Validasi asumsi statistik dilakukan dengan uji normalitas residual. Perhitungan kekuatan lentur maksimum (σ_b) dan modulus elastisitas (E) juga dilakukan untuk memperkuat analisis sifat mekanik dari sambungan las.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Bending

Pengujian bending dilakukan pada sembilan kombinasi parameter arus dan jenis elektroda sesuai dengan rancangan *Taguchi L9*. Setiap kombinasi diuji sebanyak dua kali untuk memperoleh data yang lebih representatif. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 1. yang menunjukkan nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen serta nilai rata-ratanya.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Taguchi*

NO	L ₉ (3 ²)				
	arus	elektroda	Uji bending 1	Uji bending 2	mean
1	90A	E6013	13.41kN	13.42kN	13.42kN
2	90A	E7016	13.42kN	12.72kN	13.07kN

3	90A	E7018	13.40kN	13.80kN	13.60kN
4	110A	E6013	14.50kN	13.34kN	13.92kN
5	110A	E7016	14.24kN	13.62kN	13.93kN
6	110A	E7018	12.46kN	13.44kN	12.95kN
7	130A	E6013	13.98kN	14.13kN	14.05kN
8	130A	E7016	13.32kN	13.40kN	13.36kN
9	130A	E7018	14.34kN	15.18kN	14.76kN

Berdasarkan hasil pada tabel, terlihat bahwa kekuatan bending bervariasi sesuai dengan kombinasi arus dan elektroda yang digunakan. Nilai rata-rata tertinggi diperoleh pada penggunaan arus 130A dengan elektroda E7018, yaitu sebesar 14,76 kN. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut menghasilkan sambungan las dengan kemampuan menahan beban lentur paling baik. Sebaliknya, nilai rata-rata terendah diperoleh pada arus 110A dengan elektroda E7018 sebesar 12,95 kN, yang menunjukkan bahwa kombinasi ini menghasilkan kekuatan sambungan paling lemah.

Jika diamati secara umum, peningkatan arus dari 90A ke 130A cenderung memberikan tren peningkatan kekuatan bending. Hal ini dapat dijelaskan karena arus yang lebih tinggi menghasilkan penetrasi las yang lebih dalam sehingga fusi antar logam lebih sempurna. Namun, peningkatan arus yang tidak diimbangi dengan pemilihan elektroda yang sesuai dapat menyebabkan cacat las, seperti porositas atau ketidakmerataan struktur, yang berakibat pada penurunan kekuatan sambungan. Kondisi ini terlihat pada kombinasi arus 110A dengan elektroda E7018, di mana meskipun arus berada pada tingkat menengah, hasil bending justru relatif rendah.

Jenis elektroda juga terbukti berpengaruh terhadap kekuatan sambungan. Elektroda E7018 secara konsisten menunjukkan hasil yang baik pada arus tinggi, sedangkan elektroda E7016 menghasilkan nilai rata-rata yang lebih rendah dibandingkan elektroda lainnya. Hal ini dapat dikaitkan dengan perbedaan sifat lapisan fluks dan kestabilan busur dari masing-masing elektroda. E7018 dikenal memiliki lapisan fluks dengan kandungan hidrogen rendah sehingga dapat menghasilkan sambungan yang lebih padat dan kuat, terutama ketika digunakan pada arus tinggi.

Temuan ini mengindikasikan bahwa kombinasi parameter pengelasan tidak bisa ditentukan hanya dengan meningkatkan arus, melainkan perlu memperhatikan kesesuaian jenis elektroda yang digunakan. Hasil pengujian ini selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan metode Taguchi untuk menentukan parameter yang benar-benar optimal.

Optimasi Parameter dengan Metode Taguchi

Setelah diperoleh hasil rata-rata kekuatan bending dari setiap kombinasi parameter, langkah berikutnya adalah analisis menggunakan metode Taguchi. Analisis ini dilakukan dengan menghitung nilai *Signal-to-Noise Ratio* (S/N Ratio) menggunakan kriteria *Larger is Better*, karena semakin besar nilai kekuatan bending maka semakin baik kualitas sambungan las yang dihasilkan.

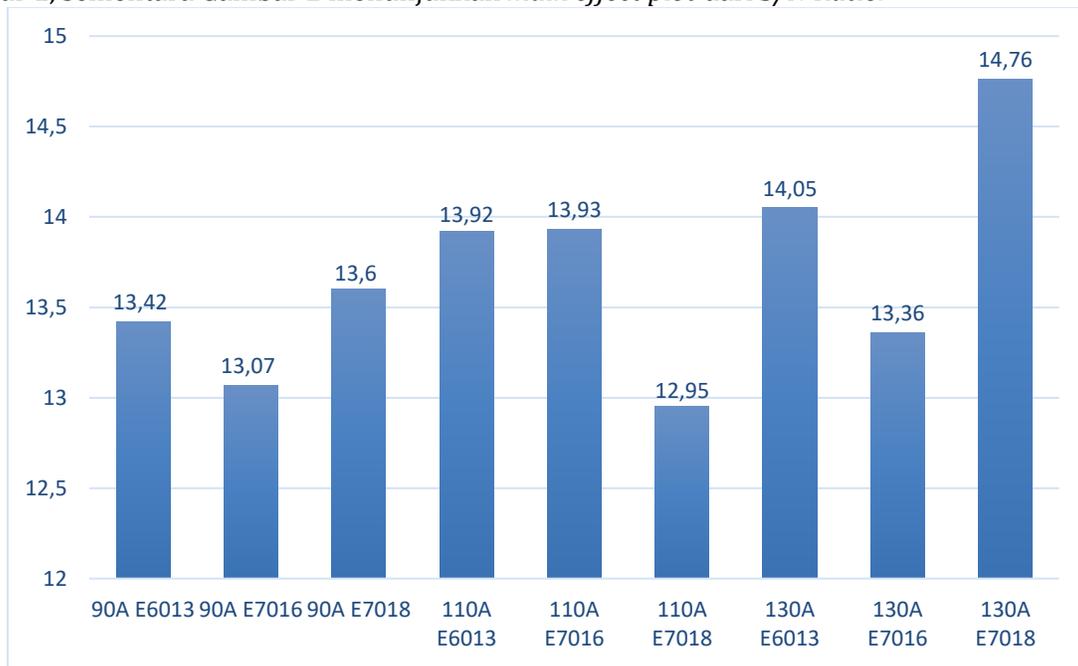
Tabel 2. Pengolahan Data S/N Ratio

NO	L ₉ (3 ²)					SN/Ratio
	arus	elektroda	Uji bending 1	Uji bending 2	mean	
1	90A	E6013	13.41kN	13.42kN	13.42kN	22.5551
2	90A	E7016	13.42kN	12.72kN	13.07kN	22.3255
3	90A	E7018	13.40kN	13.80kN	13.60kN	22.6708
4	110A	E6013	14.50kN	13.34kN	13.92kN	22.8728
5	110A	E7016	14.24kN	13.62kN	13.93kN	22.8790
6	110A	E7018	12.46kN	13.44kN	12.95kN	22.2454
7	130A	E6013	13.98kN	14.13kN	14.05kN	22.9535
8	130A	E7016	13.32kN	13.40kN	13.36kN	22.5161
9	130A	E7018	14.34kN	15.18kN	14.76kN	23.3817

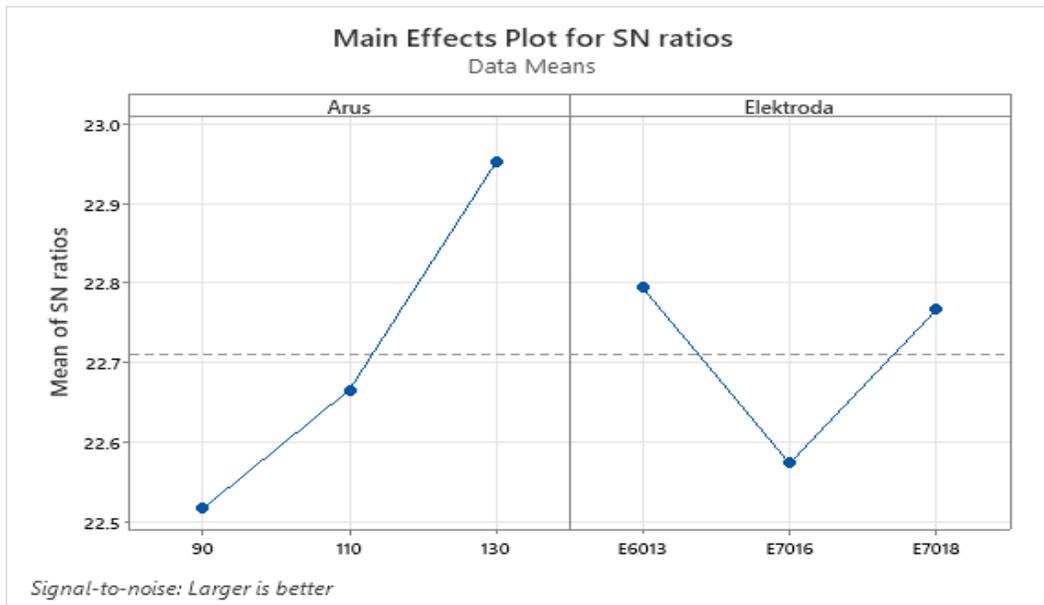
Tabel 3. Respon *S/N Ratio*

Level	Arus	Elektroda
1	22.52	22.79
2	22.67	22.57
3	22.95	22.77
Delta	0.43	0.22
Rank	1	2

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa variasi arus memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan jenis elektroda. Hal ini terlihat dari nilai delta pada Tabel 4.3, di mana faktor arus memiliki selisih yang lebih signifikan dibandingkan elektroda. Artinya, perubahan arus dari 90A, 110A, hingga 130A lebih menentukan perbedaan hasil bending dibandingkan pergantian elektroda. Untuk memperjelas pengaruh parameter, grafik perbandingan hasil uji bending ditampilkan pada Gambar 1, sementara Gambar 2 menunjukkan *main effect plot* dari *S/N Ratio*.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Hasil Pengujian



Gambar 2. Plot Efek S/N Ratio

Grafik memperlihatkan adanya tren peningkatan kekuatan bending seiring kenaikan arus, khususnya pada 130A yang menghasilkan nilai tertinggi. Sementara itu, pengaruh elektroda terlihat berbeda: elektroda E7016 konsisten memberikan nilai paling rendah, sedangkan E7018 dan E6013 menghasilkan performa lebih tinggi. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sifat kimia fluks elektroda berperan penting dalam membentuk mikrostruktur sambungan.

Hasil analisis Taguchi secara keseluruhan mengindikasikan bahwa kombinasi parameter terbaik adalah penggunaan arus tinggi (130A) dengan elektroda E7018. Kombinasi ini memberikan kekuatan bending tertinggi sekaligus menghasilkan sambungan las yang lebih homogen. Dengan demikian, metode Taguchi terbukti efektif untuk mengidentifikasi parameter dominan sekaligus meminimalkan jumlah percobaan yang harus dilakukan.

Analisis Variansi (ANOVA) dan Validasi Data

Untuk mengetahui kontribusi masing-masing faktor terhadap hasil uji bending, dilakukan analisis variansi (ANOVA) dengan tingkat kepercayaan 95%. Analisis ini mencakup dua faktor utama, yaitu arus dan jenis elektroda, dengan parameter kontribusi, nilai F, dan nilai P yang digunakan sebagai indikator pengaruh.

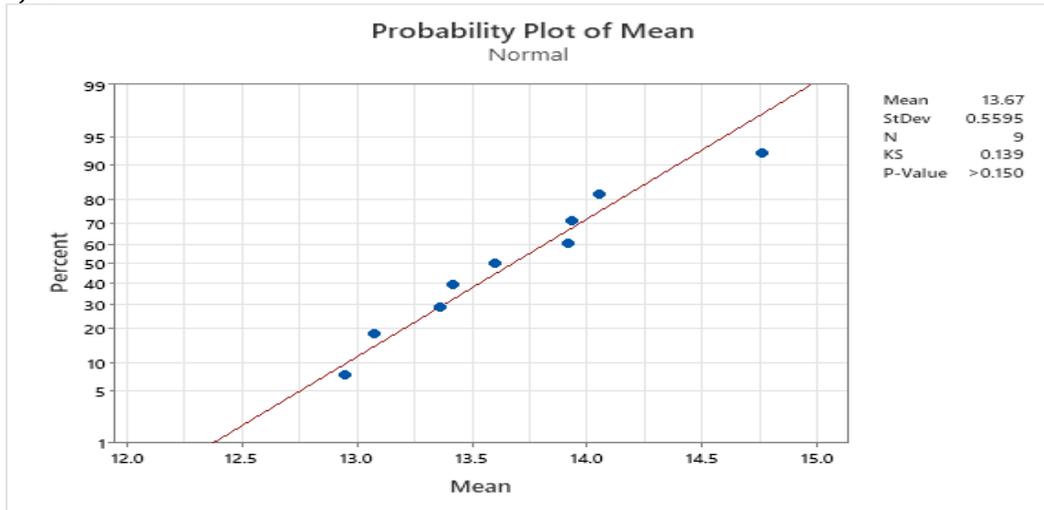
Tabel 4. Hasil ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	kontribusi
Arus	2	0,7453	0,3726	0,97	0,454	29,75%
Elektroda	2	0,2189	0,1094	0,28	0,767	8,74%
Eror	4	1,540	0,3851			61,51%
Total	8	2,5044				100%

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa faktor arus memberikan kontribusi lebih besar dibandingkan elektroda, yaitu sekitar 29,75% terhadap variasi kekuatan bending. Meskipun demikian, nilai P untuk faktor arus sebesar 0,454 (>0,05) dan elektroda sebesar 0,767 (>0,05) mengindikasikan bahwa secara statistik, keduanya tidak signifikan pada taraf 5%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat kecenderungan peningkatan kekuatan dengan arus yang lebih tinggi, variasinya masih dipengaruhi oleh faktor lain di luar parameter yang diteliti, seperti keterampilan pengelasan atau homogenitas material.

Validasi model dilakukan dengan uji normalitas residual menggunakan normal probability plot. Grafik pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa titik-titik residual berada cukup dekat dengan garis lurus, sehingga data dapat dikatakan mengikuti distribusi normal. Dengan demikian, model

statistik yang digunakan dalam analisis ini dianggap valid dan dapat dijadikan dasar interpretasi lebih lanjut.



Gambar 3. Grafik Normal Probability Plot

Secara keseluruhan, hasil ANOVA memperkuat temuan analisis *Taguchi* bahwa arus memiliki pengaruh lebih dominan dibandingkan jenis elektroda. Meskipun pengaruhnya tidak signifikan secara statistik, kecenderungan ini tetap penting dari sisi praktis karena memberikan arah dalam menentukan parameter pengelasan yang menghasilkan kekuatan bending lebih baik.

Kekuatan Lentur dan Modulus Elastisitas Sambungan Las

Selain analisis *Taguchi* dan ANOVA, perhitungan kekuatan lentur maksimum (σ_b) dan modulus elastisitas (E) dilakukan untuk menilai sifat mekanik sambungan las secara lebih detail. Perhitungan ini menggunakan pendekatan uji bending tiga titik, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{3.PL}{2bd^2}$$

$$E = \frac{L^3.m}{4.b.d^2}$$

dengan keterangan:

- σ_b = tegangan lentur maksimum (N/mm²)
- E = modulus elastisitas (N/mm²)
- P = beban tekan maksimum (N)
- L = jarak antar tumpuan (mm)
- b = lebar spesimen (mm)
- d = tebal spesimen (mm)
- m = gradien beban–deformasi

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kombinasi arus 130A dengan elektroda E7018 menghasilkan nilai kekuatan lentur tertinggi, yaitu sebesar 783 N/mm². Sementara itu, nilai terendah diperoleh pada kombinasi arus 110A dengan elektroda E7018, yakni 647,5 N/mm². Untuk modulus elastisitas, nilai tertinggi tercatat pada kombinasi arus 110A dengan elektroda E7018 sebesar 490,2 N/mm², sedangkan nilai terendah terjadi pada kombinasi arus 90A dengan elektroda E7018 sebesar 435,7 N/mm².

Temuan ini sejalan dengan hasil uji bending sebelumnya, di mana penggunaan arus tinggi dan elektroda E7018 menghasilkan sambungan dengan kemampuan menahan beban lentur paling optimal. Kondisi ini dapat dijelaskan karena arus tinggi memberikan penetrasi las yang lebih dalam, sementara fluks elektroda E7018 dengan kandungan hidrogen rendah menghasilkan sambungan yang lebih padat dan homogen.

Selain itu, variasi nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa sifat elastis sambungan juga dipengaruhi oleh struktur mikro yang terbentuk selama proses pendinginan las. Hal ini menjelaskan

mengapa kombinasi arus 110A dengan elektroda E7018 menghasilkan modulus elastisitas tertinggi meskipun kekuatan lenturnya tidak setinggi arus 130A. Dengan demikian, analisis kekuatan lentur dan modulus elastisitas melengkapi hasil sebelumnya dan menegaskan bahwa kombinasi arus 130A dengan elektroda E7018 merupakan parameter pengelasan SMAW 1G yang paling optimal untuk baja ASTM A36.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai optimasi parameter pengelasan SMAW 1G terhadap kekuatan uji bending pada material ASTM A36 menunjukkan bahwa variasi arus dan jenis elektroda berpengaruh terhadap kualitas sambungan. Pemilihan parameter yang kurang tepat dapat menurunkan kekuatan bending, sedangkan kombinasi parameter yang sesuai mampu menghasilkan sambungan yang lebih kuat dan memenuhi kriteria kelayakan aplikasi.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa sambungan las dengan posisi pengelasan 1G menggunakan kampuh V groove mampu memberikan kekuatan sambungan yang sesuai dengan standar. Kombinasi arus 130A dengan elektroda E7018 terbukti menghasilkan sambungan paling optimal, dengan nilai kekuatan bending tertinggi sebesar 14,76 kN. Sebaliknya, kombinasi arus 110A dengan elektroda E7018 menghasilkan nilai terendah, yaitu 12,95 kN.

Analisis variansi (ANOVA) juga menunjukkan bahwa faktor arus memberikan kontribusi lebih dominan dibandingkan elektroda, yakni sebesar 29,75% terhadap variabilitas hasil uji, sementara elektroda hanya menyumbang 8,74%. Hal ini menegaskan bahwa arus pengelasan berperan lebih besar dalam menentukan kekuatan sambungan karena berhubungan langsung dengan kedalaman penetrasi dan distribusi kekuatan saat beban diberikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan arus 130A dengan elektroda E7018 merupakan kombinasi parameter pengelasan SMAW 1G yang paling optimal untuk material ASTM A36, baik dari segi kekuatan bending maupun kualitas sambungan secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anda, Y. D. (2021). *Analisa Hasil Sambungan Las Smaw Pada Material Baja Astm A36 Dengan Variasi Arus Dan Jarak Kampuh Las* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Nata, O. D., Hidayat, M., & Rohman, S. A. (2021). Analisis Kekuatan Uji Bending Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Material SS400 Menggunakan Kawat Las E6013 Berbagai Variasi Arus Listrik. *Hexagon*, 2(1), 12-15.
- Umartono, A. S., & Latif, A. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW dengan Elektroda E7018 terhadap Kekuatan Tarik pada Baja JIS G3113. *Wahana Tek*, 8(1), 27-48.
- Prayoga, F. R. (2024). *Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Sambungan pada Baja ST37* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bengkalis).
- Veronika, R., Abdillah, H., & Nainggolan, I. K. (2023). PENGARUH PARAMETER PENGELASAN TERHADAP HASIL UJI BENDING DENGAN STANDAR AWS PADA BAJA ASTM A36. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 5-14.
- Surdia, T., & Saito, S. (1995). *Pengetahuan Bahan Teknik, Pradnya Paramita, Jakarta. Vlack Lawrence H. Van.*
- James, M. G., & Barry, J. G. (2008). *Mechanics of materials.*