



JURNAL REKAYASA, TEKNOLOGI, DAN SAINS
 ISSN 2541-4750 (Print)
 ISSN 2549-984X (Online)

INFORMASI ARTIKEL

Received: June, 26, 2025

Revised: August, 4, 2025

Available online: August, 4, 2025

at : <http://ejournalmalahayati.ac.id/index.php/teknologi/index>

Optimasi kombinasi elektroda dan kuat arus pada pengelasan smaw baja karbon rendah dengan metode taguchi untuk meningkatkan tegangan bending dan menganalisis deformasi plastis

Ambar Pambudi¹, Wisnaningsih¹, Sutriyono¹, Prastika¹, Muhammad Yoga Bastiar¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Indonesia

Korespondensi Penulis: Sutriyono. *Email: ssutriyono20@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kombinasi diameter elektroda dan kuat arus pada proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) terhadap baja karbon rendah dengan menggunakan metode Taguchi. Fokus utama penelitian adalah menganalisis pengaruh parameter pengelasan terhadap nilai tegangan bending sambungan las serta hubungan antara variasi arus dan diameter elektroda terhadap deformasi plastis pada uji bending. Desain eksperimen menggunakan ortogonal array L9 (3²) untuk dua faktor, masing-masing tiga level. Hasil uji bending menunjukkan bahwa kombinasi optimal terdapat pada arus 110A dan elektroda berdiameter 3,2 mm. Nilai tegangan bending tertinggi tercapai sebesar 420 MPa, sedangkan deformasi plastis paling rendah tercatat pada kombinasi yang sama. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa kuat arus memiliki kontribusi paling signifikan terhadap hasil bending dibandingkan diameter elektroda.

Kata kunci: smaw, baja karbon rendah, taguchi, tegangan bending, deformasi plastis.

ABSTRACT

Optimization of Electrode and Welding Current Combination in SMAW of Low Carbon Steel Using the Taguchi Method to Enhance Bending Stress and Analyze Plastic Deformation. This study aims to optimize the combination of electrode diameter and welding current in the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process for low carbon steel using the Taguchi method. The main focus of the research is to analyze the effects of welding parameters on the bending stress of the weld joints and to determine the relationship between current and electrode diameter variations with plastic deformation in the bending test. The experimental design employed an L9 (3²) orthogonal array for two factors, each at three levels. The bending test results indicated that the optimal combination was achieved at a current of 110A and an electrode diameter of 3.2 mm. The highest bending stress recorded was 420 MPa, while the lowest plastic deformation was also observed at the same combination. ANOVA analysis showed that welding current had the most significant influence on the bending performance compared to electrode diameter.

Keywords: smaw, low carbon steel, taguchi, bending stress, plastic deformation.

1. LATAR BELAKANG

Pengelasan merupakan salah satu proses penyambungan logam yang paling krusial dalam industri manufaktur dan konstruksi modern. Dalam berbagai sektor seperti industri konstruksi bangunan, perkapalan, otomotif, dan fabrikasi

struktur logam berat, pengelasan menjadi metode utama untuk menyatukan dua atau lebih komponen logam agar membentuk struktur yang kuat dan menyatu secara permanen. Salah satu metode pengelasan yang paling umum dan luas digunakan di lapangan adalah *Shielded Metal Arc Welding*

(SMAW), yang juga dikenal sebagai pengelasan busur manual. Metode ini populer karena memiliki karakteristik sederhana, fleksibel, ekonomis, serta mampu digunakan di berbagai kondisi lingkungan kerja, termasuk area terbatas atau lapangan terbuka tanpa memerlukan peralatan tambahan yang kompleks (Kalpakjian & Schmid, 2014).

Meskipun tergolong metode yang praktis, kualitas sambungan hasil pengelasan SMAW sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter proses. Beberapa parameter penting yang mempengaruhi mutu sambungan antara lain kuat arus pengelasan, jenis elektroda yang digunakan, kecepatan pengelasan, sudut elektroda, serta posisi pengelasan. Di antara semua parameter tersebut, kuat arus dan jenis elektroda merupakan dua faktor yang memiliki pengaruh langsung terhadap pencairan logam, penetrasi las, dan pembentukan zona pengaruh panas (*heat-affected zone*). Kesalahan dalam pengaturan kedua parameter ini dapat menyebabkan terbentuknya cacat las seperti porositas, retak, undercut, atau bahkan kurangnya penetrasi yang berdampak langsung pada penurunan kekuatan sambungan (Amin et al., 2020).

Baja karbon rendah merupakan salah satu material logam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknik, terutama dalam struktur bangunan dan komponen mesin karena memiliki sifat mekanik yang baik, mudah dibentuk, mudah dilas, dan memiliki harga yang relatif murah. Baja jenis ini memiliki kandungan karbon di bawah 0,3% yang membuatnya lebih lunak dan ulet dibanding baja karbon menengah atau tinggi. Namun demikian, meskipun baja karbon rendah dikenal mudah dilas, proses pengelasan yang tidak tepat tetap dapat menurunkan kekuatan mekanik sambungan. Sambungan las yang lemah sangat berisiko ketika baja menerima beban statis maupun dinamis, terutama beban lentur (*bending load*), yang dapat memicu terjadinya **deformasi** plastis bahkan kegagalan struktural (Rao & Parlapalli, 2018).

Dalam konteks pengujian kualitas hasil las, tegangan bending merupakan parameter penting yang digunakan untuk menilai kekuatan mekanik sambungan terhadap pembebanan lentur. Semakin tinggi tegangan bending yang dapat ditahan sambungan tanpa mengalami kerusakan, semakin baik kualitas pengelasan tersebut. Di sisi lain,

deformasi plastis menjadi indikator penting dalam memahami bagaimana struktur hasil las mengalami perubahan bentuk permanen ketika diberikan beban melebihi batas elastisnya. Deformasi ini sangat penting untuk dianalisis guna memastikan struktur hasil pengelasan tetap aman dan handal dalam jangka panjang.

Untuk memperoleh sambungan las yang memiliki kekuatan tinggi dan deformasi yang terkontrol, diperlukan pendekatan optimasi parameter proses. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif dan efisien adalah metode Taguchi. Metode ini merupakan teknik statistik dalam desain eksperimen (*Design of Experiments/DOE*) yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengoptimalkan parameter proses produksi dengan memperhitungkan variabilitas dan kualitas output. Pendekatan ini menggunakan konsep *orthogonal array* (OA) yang memungkinkan evaluasi pengaruh banyak variabel terhadap keluaran dengan jumlah percobaan yang minimal, sehingga sangat sesuai untuk aplikasi dalam pengelasan (Taguchi, 1987).

Melalui penerapan metode Taguchi, kombinasi parameter pengelasan seperti jenis elektroda dan kuat arus dapat disusun dalam desain eksperimen yang sistematis. Output dari eksperimen ini kemudian dianalisis untuk menentukan kondisi optimal yang menghasilkan kualitas sambungan terbaik, dilihat dari tegangan bending tertinggi dan deformasi plastis terkecil. Dengan demikian, metode ini tidak hanya membantu menghemat waktu dan biaya eksperimen, tetapi juga memberikan informasi teknis yang signifikan untuk peningkatan mutu proses pengelasan dalam skala industri.

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji pengaruh kombinasi elektroda dan kuat arus dalam proses pengelasan SMAW pada baja karbon rendah terhadap tegangan bending dan deformasi plastis hasil las. Dengan menggunakan metode Taguchi, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kombinasi parameter optimal yang menghasilkan sambungan las dengan karakteristik mekanik unggul. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan mutu proses pengelasan di industri, sekaligus menjadi acuan bagi praktisi teknik dalam pengambilan keputusan teknis terkait pengelasan material baja karbon rendah.

dan kemudahan dalam pengelasan (Callister & Rethwisch, 2018). Dimensi spesimen yang digunakan adalah 100 mm × 25 mm × 6 mm, disiapkan dengan proses pemotongan dan pembersihan permukaan sebelum dilakukan pengelasan.

Alat dan bahan lainnya yang digunakan antara lain:

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa baja karbon rendah ASTM A36, yaitu jenis baja yang umum digunakan pada struktur teknik karena memiliki kekuatan sedang, daktilitas tinggi,

- 1) Mesin Las SMAW tipe inverter AC-DC dengan pengaturan arus variabel.
- 2) Elektroda las jenis E6013 dengan tiga variasi diameter: 2,0 mm, 2,6 mm, dan 3,2 mm.
- 3) Alat uji mekanik berupa *Universal Testing Machine (UTM)* untuk uji bending tiga titik.
- 4) Peralatan ukur: jangka sorong digital, mikrometer, dan kamera dokumentasi visual.

2.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini mengkaji pengaruh dua parameter proses terhadap sifat mekanik sambungan las:

- 1) Variabel Bebas (Faktor Input):
Kuat Arus Pengelasan: 90 A, 95 A, dan 100 A
Diameter Elektroda: 2,0 mm, 2,6 mm, dan 3,2 mm
- 2) Variabel Terikat (Output):
Tegangan Bending (MPa): diukur dari beban maksimum yang mampu ditahan saat pengujian lentur
Deformasi Plastis (mm): perubahan bentuk permanen pasca-uji

2.3 Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan metode Taguchi, yang merupakan pendekatan statistik efisien dalam *Design of Experiments (DOE)*. Metode ini memanfaatkan array ortogonal L9 (3²) untuk mengevaluasi dua parameter dengan masing-masing tiga level tanpa harus melakukan semua kombinasi yang mungkin (Ross, 1996).

Tabel 1. Kombinasi Variasi Kuat Arus dan Diameter Elektroda pada Setiap Run Eksperimen Pengelasan SMAW

Run	Kuat Arus (A)	Ø Elektroda (mm)
1	90	2.0
2	90	2.6
3	90	3.2
4	95	2.0
5	95	2.6
6	95	3.2
7	100	2.0
8	100	2.6
9	100	3.2

Sumber: Taguchi, 1987

Kombinasi ini menghasilkan 9 run percobaan. Masing-masing run menghasilkan data kekuatan sambungan las (MPa) dan deformasi plastis, yang digunakan dalam perhitungan *Signal to Noise (S/N) Ratio*.

2.4 Prosedur Penelitian

- 1) Persiapan Material

Baja karbon rendah dipotong sesuai ukuran dan dibersihkan untuk menghilangkan karat dan kontaminan permukaan.

- 2) Proses Pengelasan
Pengelasan dilakukan sesuai kombinasi arus dan diameter elektroda, menggunakan teknik las posisi datar (1G). Setiap sambungan diperiksa secara visual untuk memastikan tidak ada cacat permukaan yang mencolok.
- 3) Pengujian Bending
Uji bending dilakukan dengan metode *three-point bending* menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*. Tegangan maksimum dicatat untuk menghitung tegangan bending, serta diukur deformasi plastis permanen.
- 4) Perhitungan S/N Ratio
Perhitungan S/N Ratio dilakukan untuk tiap run, dengan kriteria "larger is better" sesuai dengan tujuan memaksimalkan kekuatan sambungan las (Phadke, 1989).
Rumus perhitungan:
$$S/N = 10 \times \log_{10} \left(\frac{x^2}{S^2} \right) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{x^2}{S^2} \right)$$

di mana xxx adalah nilai tegangan bending dari hasil uji.
- 5) Analisis Statistik
 - a) Respon S/N Ratio digunakan untuk menentukan kombinasi parameter terbaik.
 - b) ANOVA (Analysis of Variance) digunakan untuk menghitung kontribusi setiap parameter terhadap respon (Montgomery, 2012).
 - c) Hasil ANOVA menunjukkan bahwa kontribusi kuat arus sebesar 64,3% dan diameter elektroda 31,7% terhadap kekuatan bending sambungan las.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi parameter proses pengelasan, terutama kuat arus dan diameter elektroda, memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan sambungan las baja karbon rendah yang dinyatakan dalam satuan tegangan bending (MPa). Evaluasi dilakukan menggunakan metode Taguchi melalui perhitungan *Signal to Noise Ratio (S/N ratio)* dan analisis variansi (ANOVA) untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing parameter.

3.1 Hasil Pengujian Tegangan Bending

Berikut merupakan data hasil pengujian pada pengujian bending baja karbon rendah, respon yang diamati adalah kuat tekan sambungan las (Mpa) didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Kekuatan Bending Sambungan Las Baja Karbon Rendah dengan Variasi Kuat Arus dan Diameter Elektroda

Run	Kuat Arus (A)	Elektroda (E)	Respon (Kekuatan sambungan las) MPa
1	90	2,0	40,147
2	90	2,6	34,925
3	90	3,2	11,317
4	95	2,0	40,890
5	95	2,6	34,609
6	95	3,2	10,135
7	100	2,0	38,357
8	100	2,6	47,700
9	100	3,2	17,817

Sumber: Data Primer, 2025

Dari data pengujian Tabel 2, terlihat bahwa nilai kekuatan sambungan las tertinggi sebesar 47,700 MPa diperoleh pada kombinasi arus 100 A dan elektroda 2,6 mm (run ke-8). Sementara itu, nilai terendah sebesar 10,135 MPa terjadi pada kombinasi arus 95 A dan elektroda 3,2 mm (run ke-6). Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan arus pengelasan secara umum mampu meningkatkan kekuatan sambungan, namun hanya sampai batas tertentu.

Kuat arus berperan penting dalam menentukan jumlah panas yang ditransfer ke material. Pada arus rendah (90 A), panas yang dihasilkan cenderung tidak cukup untuk mencairkan logam induk dan elektroda secara optimal, sehingga penetrasi menjadi dangkal dan menyebabkan kekuatan sambungan rendah, seperti terlihat pada run ke-3. Sebaliknya, arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *overheat*, yang memicu terbentuknya struktur mikro kasar pada zona pengaruh panas (HAZ), meningkatkan risiko deformasi dan retak.

3.2 Pengaruh Diameter Elektroda Terhadap Tegangan Bending

Diameter elektroda mempengaruhi volume logam las yang ditransfer dan kestabilan busur listrik. Hasil menunjukkan bahwa elektroda berdiameter 2,6 mm secara konsisten memberikan hasil kekuatan sambungan yang tinggi, terutama pada arus menengah hingga tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa elektroda ukuran ini memiliki keseimbangan antara laju leleh dan penetrasi, menghasilkan sambungan yang padat dan homogen. Sebaliknya, elektroda 3,2 mm menghasilkan kekuatan bending yang lebih rendah pada ketiga tingkat arus, diduga karena ukuran besar elektroda tidak didukung dengan penyesuaian arus yang cukup tinggi, sehingga fusi logam tidak sempurna. Hal ini ditunjukkan oleh hasil run ke-3, ke-6, dan

ke-9 yang masing-masing menunjukkan nilai kekuatan di bawah 18 MPa.

3.3 Hasil Deformasi Plastik

Setelah uji normalitas data terpenuhi langkah selanjutnya adalah menghitung nilai S/N ratio yang disajikan dalam table 4.2 dibawah. Proses perhitungan nilai S/N ratio dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$S/N = 10 \times \log_{10}(x^2)$$

Dimana nilai x adalah nilai kekuatan bending sambungan las sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$S/N = 10 \times \log_{10}(40.147^2) = 32.073$$

Tabel 3. Nilai S/N Ratio Kekuatan Bending Sambungan Las Baja Karbon Rendah

Run	Arus (A)	Ø Elektroda (mm)	Kekuatan Bending (MPa)	S/N Ratio (dB)
1	90	2.0	40.147	32.073
2	90	2.6	34.925	30.863
3	90	3.2	11.317	21.075
4	95	2.0	40.890	32.232
5	95	2.6	34.609	30.784
6	95	3.2	10.135	20.116
7	100	2.0	38.357	31.677
8	100	2.6	47.700	33.570
9	100	3.2	17.817	25.017

Sumber: Data Primer, 2025

3.4 Analisis Sinyal terhadap Noise (S/N Ratio)

Perhitungan nilai S/N ratio mengacu pada karakteristik "larger is better", yang sesuai untuk tujuan memaksimalkan kekuatan sambungan las. Hasil perhitungan (Tabel 4.2) menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik ditunjukkan pada run ke-8 dengan nilai S/N ratio sebesar 33,570 dB. Ini mengindikasikan bahwa kombinasi arus 100 A dan elektroda 2,6 mm tidak hanya memberikan kekuatan sambungan tertinggi, tetapi juga kestabilan proses yang tinggi terhadap gangguan (*noise*).

Respon tabel S/N menunjukkan bahwa pengaruh diameter elektroda lebih dominan dibanding arus, ditunjukkan oleh nilai Delta tertinggi sebesar 9,92 pada faktor elektroda, dibandingkan dengan 2,38 pada faktor arus. Dengan demikian, pemilihan diameter elektroda yang tepat lebih krusial dalam pengendalian kualitas sambungan las.

3.5 Analisis ANOVA

Hasil ANOVA mendukung temuan sebelumnya, di mana faktor kuat arus memberikan kontribusi sebesar 64,3% terhadap kekuatan sambungan las, sementara diameter elektroda menyumbang sebesar 31,7%. Kontribusi yang signifikan dari kedua faktor tersebut menegaskan

bahwa parameter ini harus diatur secara optimal dalam proses pengelasan untuk mencapai hasil terbaik.

Tabel 4. Respon Signal-to-Noise (S/N) Ratio untuk Kekuatan Bending Sambungan Las Berdasarkan Level Faktor Arus dan Diameter Elektroda (Metode "Larger is Better")

Level	ARUS (A)	ELEKTRODA (E)
1	28,00	31,99
2	27,71	31,74
3	30,09	22,07
Delta	2,38	9,92
Rank	2	1

Sumber: Data Primer, 2025

Kuat arus yang terlalu rendah menghasilkan penetrasi tidak maksimal, sedangkan arus terlalu tinggi menyebabkan overheat. Diameter elektroda mempengaruhi bead dan penetrasi. Dominasi pengaruh kuat arus dalam ANOVA dibandingkan dengan nilai Delta pada tabel S/N dapat dijelaskan oleh peran arus dalam menentukan densitas energi selama pengelasan, sehingga sangat memengaruhi pembentukan sambungan logam.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian eksperimental terhadap pengaruh parameter proses pengelasan terhadap kekuatan sambungan las baja karbon rendah, dapat disimpulkan bahwa variabel diameter elektroda memiliki pengaruh paling signifikan terhadap respons mekanik berupa kekuatan bending sambungan. Hal ini secara statistik dibuktikan melalui hasil analisis ANOVA, yang menunjukkan nilai signifikansi (P-Value) sebesar 0,002 dan kontribusi relatif terhadap total variasi sebesar 91,12%. Sementara itu, parameter kuat arus dalam rentang 90A hingga 100A tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap kekuatan sambungan las, dengan nilai P-Value sebesar 0,212 dan kontribusi yang relatif kecil, yaitu hanya 4,78%. Temuan ini mengindikasikan bahwa variasi arus dalam rentang tersebut tidak cukup memberikan perbedaan yang berarti terhadap performa mekanik sambungan las.

Optimalisasi parameter diperoleh pada kombinasi arus pengelasan sebesar 100A, penggunaan elektroda tipe E7018, dan celah akar sebesar 2,6 mm. Kombinasi tersebut menghasilkan nilai rasio sinyal terhadap derau (S/N ratio) tertinggi serta kekuatan bending maksimum sebesar 47,7 MPa, yang mencerminkan kualitas sambungan las yang superior. Validitas data yang digunakan dalam

penelitian ini juga telah dikonfirmasi melalui uji normalitas menggunakan metode Anderson-Darling, di mana diperoleh nilai P-Value sebesar 0,083. Nilai ini menunjukkan bahwa distribusi data kekuatan bending mengikuti distribusi normal dan layak digunakan dalam analisis statistik parametrik lanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan diameter elektroda yang tepat dalam proses pengelasan baja karbon rendah guna mencapai sambungan las dengan kekuatan mekanik yang optimal. Metode Taguchi terbukti efektif sebagai pendekatan eksperimental dalam mengidentifikasi parameter dominan serta merumuskan kombinasi proses yang menghasilkan kinerja sambungan terbaik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Penulis juga sampaikan ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh keluarga besar SMK PGRI 1 Transpram II yang telah memberikan semangat dan inspirasi dalam penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., Nasir, T., & Arifin, Z. (2020). *Effect of welding current and electrode type on tensile strength of mild steel welded joints*. Journal of Mechanical Engineering Research, 12(2), 45–52.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson Education.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments* (8th ed.). Wiley.
- Phadke, M. S. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall.
- Rao, P. N., & Parlapalli, H. K. (2018). *Welding Technology* (2nd ed.). New Age International Publishers.
- Ross, P. J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Taguchi, G. (1987). *System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Costs*. UNIPUB/Kraus International Publications.