

Analisis Pengaruh Parameter Pengelasan SMAW Pada Kekuatan Sambungan Las Baja Paduan ST60

M.Syafuan Efendi^a, Bambang Dwi Haripriadi^{a,*}

^a Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Bengkalis, Jalan Bathin Alam, Sungai Alam Bengkalis – Riau 28714

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 24 November 2025

Diterima setelah direvisi 8 Desember 2025

Disetujui 10 Desember 2025

Kata kunci:

SMAW

Baja ST60

Arus Pengelasan

Kampuh Las

Uji Tarik

NDT Penetrant

Abstract- This study analyzes the optimal SMAW welding parameters for ST60 Steel by varying the current of 100 A, 110 A, 120 A, E7018 electrodes Ø2.6, Ø3.2, Ø4.0, and seams I, V, X using the Taguchi L27 method. The testing includes NDT penetrant and tensile tests according to ASTM E8/E8M, with S/N Ratio analysis and ANOVA. The results show some defects such as porosity and cracks, but most of the specimens are in good condition. ANOVA shows the seam as the most influential factor, followed by electrode diameter and current. The best combination of parameters to produce the highest joint strength is a current of 120 A, electrode Ø4.0 mm, and seam V, which provides the best tensile value and weld stability so that it can be a reference in industrial welding processes.

Intisari- Penelitian ini menganalisis menentukan parameter pengelasan SMAW yang optimal pada Baja ST60 dengan memvariasikan arus 100 A, 110 A, 120 A, elektroda E7018 Ø2.6, Ø3.2, Ø4.0, dan kampuh I, V, X menggunakan metode Taguchi L27. Pengujian mencakup NDT penetrant dan uji tarik sesuai ASTM E8/E8M, dengan analisis S/N Ratio dan ANOVA. Hasil menunjukkan beberapa cacat seperti porositas dan crack, namun sebagian besar spesimen berada dalam kondisi baik. ANOVA menunjukkan kampuh sebagai faktor paling berpengaruh, disusul diameter elektroda dan arus. Kombinasi parameter terbaik untuk menghasilkan kekuatan sambungan tertinggi adalah arus 120 A, elektroda Ø4.0 mm, dan kampuh V, yang memberikan nilai tarik dan stabilitas las terbaik sehingga dapat menjadi acuan dalam proses pengelasan industri.

1. Pendahuluan

Baja ST 60 merupakan baja karbon sedang yang banyak digunakan dalam industri manufaktur dan konstruksi karena kekuatan tariknya yang tinggi, ketahanannya terhadap benturan serta keausan, sehingga sangat umum dimanfaatkan dalam pembuatan lambung kapal—bagian kapal yang menerima kombinasi gaya paling besar [1], [2]. Pada konstruksi kapal, baja dibentuk dan disambung hingga menjadi kesatuan, di mana proses penyambungan umumnya menggunakan pengelasan cair berbasis busur listrik, salah satunya Shield Metal Arc Welding (SMAW), karena lebih praktis dan ekonomis dibanding jenis pengelasan lain seperti GTAW, khususnya untuk pengerjaan plat baja ST 60 ketebalan 12 mm [3]-[7]. Pengelasan baja ST 60 pada lambung kapal sangat penting untuk menjamin kekuatan struktural dan ketahanan terhadap tekanan air laut, sehingga prosedur pengelasan harus dilakukan sesuai standar dan spesifikasi, mencakup pemilihan alat dan bahan yang dianjurkan [8]. Selama proses pengelasan terjadi pemanasan tinggi yang menyebabkan distribusi suhu tidak merata sehingga memengaruhi daerah pengaruh panas (HAZ), menimbulkan peregangan termal, kontraksi, tegangan sisa, dan penurunan kekuatan sambungan jika parameter heat input tidak dikendalikan dengan tepat [9]-[11]. Parameter proses seperti arus listrik, diameter elektroda, jenis kampuh, dan kecepatan pengelasan sangat menentukan kualitas sambungan, baik dalam aspek kekuatan mekanik

maupun ketahanan korosi; penggunaan elektroda E7018 diameter 3,2 mm merupakan pilihan umum untuk pengelasan baja paduan ST 60 guna menjaga kualitas struktur mikronya [12]. Kurangnya pengawasan parameter dapat menimbulkan cacat las seperti porositas, crack, kebocoran, dan perubahan struktur mikro akibat ketegangan internal, kontaminasi permukaan, maupun atmosfer pengelasan yang tidak terkendali, sehingga dapat mengganggu kinerja komponen [13]. Oleh karena itu diperlukan pengujian untuk menentukan kualitas sambungan dari variasi parameter pengelasan, salah satunya melalui uji tarik (*tensile test*) guna mengetahui sifat mekanik material seperti kekuatan tarik maksimum (UTS), modulus elastisitas, regangan, dan batas luluh, sehingga dapat dievaluasi apakah parameter yang digunakan telah menghasilkan sambungan sesuai standar kekuatan yang diharapkan serta untuk mengetahui adanya cacat sambungan [14], [15]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengangkat judul “Analisis Penentuan Parameter Pengelasan SMAW untuk Kekuatan Sambungan Las Baja Paduan ST 60”, dengan tujuan menganalisis pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap kekuatan dan kualitas sambungan melalui pengujian destruktif (DT) dan uji tarik untuk menentukan parameter yang paling optimal dan meminimalkan potensi retak maupun korosi pada konstruksi secara keseluruhan.

* Corresponding Author:

E-mail: bambang@polbeng.ac.id (Bambang Dwi Haripriadi)

2. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

Dalam proses penelitian sambungan las baja ST60 ini maka diperlukan alat dan bahan sebagai berikut:

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan

No	Spesifikasi		
Alat			
1	Mesin Uji Tarik	a.	Model C7-7001-LC 30
		b.	Kapasitas 3070N
2	Mesin Las Listrik SMAW	a.	Daya 35.500 <i>watt</i>
		b.	Volt 50/60 Hz
		c.	Arus Output 20-590 Ampere
3	Gerinda Tangan		
4	Pengukur Sudut		
5	Jangka Sorong		
Bahan			
1	Plat Baja ST60		
2	Elektroda E7018		

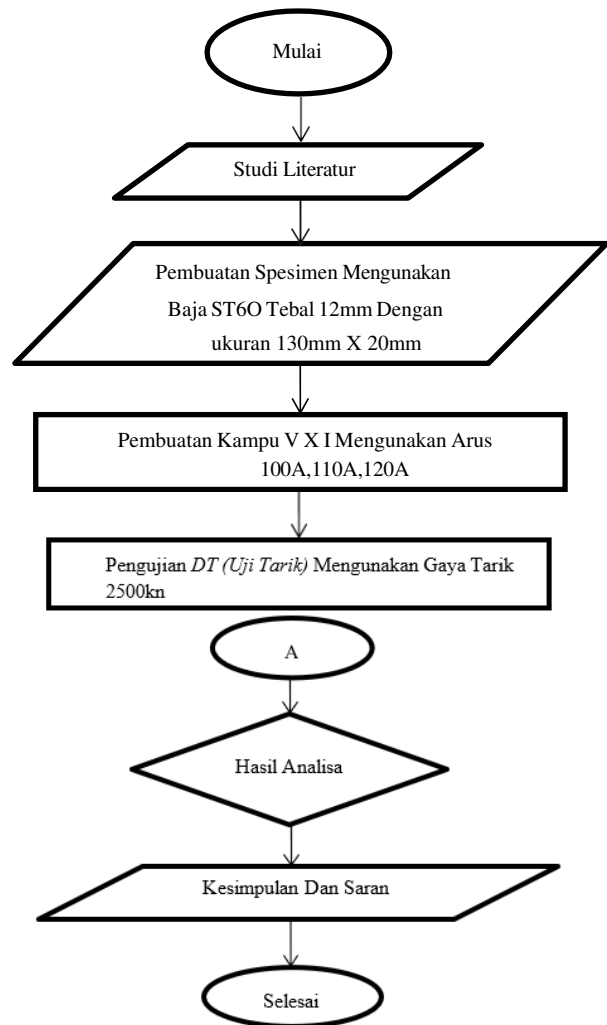
2.2 Model dan Perancangan

Tahap ini merupakan langkah-langkah yang diambil untuk merencanakan dan menyusun kegiatan penelitian dengan tujuan agar kegiatan tersebut dapat berjalan dengan efisien dan efektif. Adapun kegiatan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Spesimen
2. Proses Pengelasan
3. Tahapan Pengujian

2.3 Diagram Alir

Penelitian Analisa penentuan parameter prngelasan SMAW untuk kekuatan sambungan las Baja paduan ST 60 dimulai dengan pencarian jurnal atau (*studi literatur*). Dari studi literatur inilah dapat diketahui parameter dan metode pengujian apa yang akan digunakan, setelah dilakukan pembelajaran atau studi literatur dan identifikasi parameter dan material sudah ditentukan maka dapatlah judul yang akan diambil untuk penelitian skripsi atau tugas akhir. Setelah ditentukan judul maka dilakukanlah perancangan dan pembuatan spesimen penelitian. Lalu dimulailah proses pengelasan dengan menggunakan beberapa parameter yang sudah ditentukan, setelah proses pengelasan dilakukanlah pengujian dengan menggunakan uji Tarik (*tensile test*) dan DT (*Destructive Test*). Pada saat dilakukannya pengujian catat nilai yang dikeluarkan dari hasil proses pengelasan tersebut lalu di analisa dengan menggunakan metode *Analysis of Variance (ANOVA)*. Setelah hasil data pengujian, didapatlah kesimpulan dari parameter proses pengelasan dan pengujian Tarik dan DT.



Gambar 1. Diagram Alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Elektroda Arus dan Kampuh

Dalam penelitian ini, uji tarik dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi elektroda dan arus terhadap kualitas sambungan las, di mana uji tarik berfungsi untuk mengukur kemampuan sambungan dalam menahan gaya sebelum mengalami kerusakan dan menjadi indikator utama dalam menentukan kekuatan mekanik sambungan las. Variasi elektroda memengaruhi tingkat pencairan logam induk dan kedalaman penetrasi las, sedangkan peningkatan arus umumnya menghasilkan penetrasi yang lebih dalam namun penggunaan arus yang terlalu besar dapat menyebabkan cacat seperti porositas atau overheating yang berakibat pada penurunan kekuatan sambungan. Dalam proses penyambungan logam, variasi bentuk kampuh (*groove*) juga memiliki peranan penting karena bentuknya tidak hanya mempermudah proses pengelasan tetapi juga menentukan integritas sambungan, kekuatan struktur, serta efisiensi proses, di mana kampuh I, kampuh V, dan kampuh

X merupakan jenis yang paling umum diterapkan pada sambungan butt joint. Selain itu, variasi elektroda juga berpengaruh terhadap pembentukan lapisan las karena perbedaan komposisi kimia dan karakteristik fluks yang memengaruhi struktur hasil pengelasan. Melalui pengujian tarik pada spesimen dengan kombinasi variasi elektroda dan arus, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi parameter pengelasan yang mampu menghasilkan kekuatan tarik optimal, kemudian data hasil pengujian dianalisis untuk melihat hubungan antara variasi parameter tersebut terhadap kekuatan sambungan secara keseluruhan.

3.2 Pengumpulan data dan Analisis data

Material yang digunakan yaitu Baja *ST60* yang sudah di potong sesuai dengan ukuran yang telah di tentukan, yang dipotong sebanyak spesimen 27 yang nantinya akan dilakukan uji tarik. Untuk mendapatkan nilai kekuatan sambungan las pada masing-masing parameter yang di perlakukan pada material tersebut.

3.3 Pengujian penetrant test

Menurut ASM Handbook, hasil pengujian kekuatan tarik pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa spesimen dengan parameter arus 100 A, diameter elektroda 2,6 mm, dan kampuh V mencapai nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 447,20 kN karena arus 100 A menghasilkan panas yang cukup untuk mencairkan logam dasar dan logam pengisi secara optimal. Sebaliknya, spesimen dengan arus 120 A, diameter elektroda 4,0 mm, dan kampuh I menunjukkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 341,20 kN akibat arus yang terlalu tinggi dan elektroda berukuran besar menyebabkan pendinginan cepat setelah pengelasan, sehingga menghasilkan struktur mikro kasar yang rentan retak dan menurunkan kekuatan mekanik sambungan [16-18]. Berdasarkan AWS D1.1 (American Welding Society), hasil pengujian non-rusak (NDT) mengonfirmasi adanya beberapa cacat las, di mana dua spesimen dengan arus 100 A, diameter elektroda 2,6 mm, dan kampuh I mengalami cacat porositas, serta dua spesimen lainnya mengalami cacat *crack* (retak) dengan nilai kekuatan tarik tertinggi 391,60 kN (porositas) dan terendah 374,80 kN (*crack*), yang menurun akibat dislokasi dan ketidakkontinuan struktur pada daerah las. Porositas terjadi karena gas terperangkap dalam logam cair selama pembekuan, dan menurut AWS, penyebab umum porositas antara lain kontaminasi permukaan logam seperti minyak, karat, atau air, ketidakstabilan gas pelindung, atau arus pengelasan yang terlalu rendah sehingga gas tidak sempat keluar sebelum membeku, sedangkan crack dapat disebabkan oleh tegangan sisa tinggi akibat perbedaan kecepatan pendinginan antara daerah las dan logam dasar, penggunaan arus besar, pendinginan mendadak, atau kandungan hidrogen tinggi pada logam las. Untuk menghasilkan sambungan las berkualitas tanpa cacat, kontrol parameter pengelasan seperti arus, ukuran elektroda, dan jenis kampuh sangat diperlukan, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa cacat las memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan kekuatan mekanik, dibuktikan dengan perbedaan nilai kekuatan tarik di mana spesimen tanpa cacat memiliki kekuatan tertinggi 447,20 kN, sedangkan spesimen cacat hanya mencapai nilai tertinggi 391,60 Kn.

Tabel 2. Pengujian *Penetrant Test*

No.	Arus	Diametr Elektroda	Kampuh	L27 (3 ²)	
				Rata-Rata (KN)	Pengujian NDT
1	100	2.6	V	420,08KN	-
2	100	2.6	X	395,00KN	-
3	100	2.6	I	396,20KN	-
4	100	2.6	V	434,00KN	-
5	100	2.6	X	404,80KN	-
6	100	2.6	I	381,60KN	-
7	100	2.6	V	447,20KN	-
8	100	2.6	X	418,00KN	-
9	100	2.6	I	391,60KN	Porositi
10	110	3.2	V	400,40KN	-
11	110	3.2	X	376,80KN	Porosity
12	110	3.2	I	358,80KN	-
13	110	3.2	V	415,20KN	-
14	110	3.2	X	388,40KN	-
15	110	3.2	I	366,40KN	-
16	110	3.2	V	428,80KN	-
17	110	3.2	X	401,20KN	-
18	110	3.2	I	379,20KN	-
19	120	4.0	V	385,60KN	-
20	120	4.0	X	363,20KN	-
21	120	4.0	I	341,20KN	-
22	120	4.0	V	398,00KN	-
23	120	4.0	X	374,80KN	Crack
24	120	4,0	I	352,80KN	-
25	120	4.0	V	411,20KN	-
26	120	4.0	X	387,60KN	-
27	120	4.0	I	365,60KN	-

3.4 Data Hasil Ortogonal desain Taguchi L-27

Diameter elektroda, dan jenis kampuh memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las, di mana kombinasi arus 110 A, diameter elektroda 2,6 mm, dan kampuh V menghasilkan nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 447,20 kN dengan rasio S/N

43,65.02 dB karena kampuh V memungkinkan penetrasi yang lebih optimal sehingga logam las menjadi lebih padat, kuat, dan bebas rongga. Sebaliknya, kombinasi arus 100 A, diameter elektroda 4,0 mm, dan kampuh I menunjukkan nilai kekuatan tarik terendah dengan rata-rata 341,20 kN dan rasio S/N 42,4303 dB, di mana penggunaan arus terlalu rendah dan elektroda berdiameter besar menghasilkan panas yang kurang efektif untuk melebur logam, sehingga fusi logam las terhadap logam dasar tidak sempurna dan berpotensi menimbulkan cacat mikro seperti kurang penetrasi, terlebih bentuk kampuh I hanya memberikan penetrasi dari satu sisi sehingga kekuatan sambungan lebih rendah dibandingkan kampuh V dan X. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa pemilihan parameter pengelasan yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas sambungan baik dari segi kekuatan tarik maupun struktur metalurgi, di mana peningkatan arus yang selaras dengan ukuran elektroda serta penggunaan kampuh V mampu menghasilkan distribusi panas dan fusi logam yang optimal. Diameter elektroda juga terbukti memengaruhi kekuatan tarik, di mana elektroda berdiameter 2,6 mm memberikan nilai tertinggi dibandingkan 3,2 mm dan 4,0 mm karena mampu menyeimbangkan volume logam pengisi dan kedalaman penetrasi sehingga menghasilkan sambungan yang kuat dan merata, sementara pengaruh bentuk kampuh menunjukkan bahwa kampuh V memiliki kekuatan tarik tertinggi karena memberikan penetrasi dari dua sisi, sedangkan kampuh I memberikan hasil terendah karena hanya memiliki satu sisi penetrasi. Dengan demikian, kombinasi arus 110 A, elektroda 2,6 mm, dan kampuh V merupakan parameter pengelasan yang paling optimal dalam meningkatkan kekuatan tarik sambungan las baja ST 60 karena menghasilkan distribusi panas terbaik dan ikatan metalurgi yang paling kuat.

3.5 Pengolahan data

Setelah diperoleh data rata-rata kekuatan tarik dari setiap kombinasi parameter pengelasan, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai Signal to Noise Ratio (S/N Ratio). Tujuan perhitungan ini adalah untuk mengetahui kombinasi parameter yang paling optimal dalam menghasilkan sambungan las dengan kekuatan terbaik, serta untuk melihat seberapa besar pengaruh masing-masing parameter secara angka. Dalam penelitian ini digunakan kriteria Larger is Better, karena semakin besar nilai kekuatan tarik, maka semakin baik kualitas sambungan las yang dihasilkan. Perhitungan nilai S/N Ratios tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari Respon nilai kekuatan Tarik memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (Larger is better). S/N Ratios dari respon kekuatan tarik tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan

- a) *Larger-the-Better* (Semakin Besar Semakin Baik)

$$S/N = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum (1/y_i^2) \right)$$

- b) *Smaller-the-Better* (Semakin Kecil Semakin Baik)

$$S/N = -10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum (y_i^2) \right)$$

- c) *Nominal-the-Best* (Nilai Target Tertentu)

$$S/N = 10 \times \log_{10} \left(\bar{y}^2 / s^2 \right)$$

Dimana:

- $\bar{y}$ = rata-rata hasil pengujian
- s^2 = varians hasil pengujian

3.6. Hasil Analisis Kampuh

3.6.1 Analisis Kampuh 1 (Square butt joint)

Tabel 3. Kampuh I (*Square butt joint*)

Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (kN)	Persentase %	S/N Ratio (dB)
100	2.6	103.08	180.21	141.65	94.48	42.91
100	2.6	98.50	172.20	135.35	90.26	42.56
100	2.6	92.10	161.01	126.56	84.46	42.01
110	3.2	69.90	122.20	96.05	64.09	39.65
110	3.2	88.20	154.20	121.20	80.86	41.65
110	3.2	61.00	106.64	83.82	55.97	38.98
120	4.0	57.80	101.05	79.43	53.03	38.49
120	4.0	49.50	86.54	68.02	45.38	37.12
120	4.0	86.10	150.52	118.31	79.00	41.43

Tabel 3 hasil Berdasarkan tabel hasil pengujian, terlihat bahwa arus pengelasan (A) dan diameter elektroda (mm) memengaruhi nilai uji tarik (kN), persentase kekuatan (%), dan rasio Signal to Noise (S/N). Pada pengelasan dengan arus 100 A dan elektroda 2,6 mm, nilai uji tarik tertinggi sebesar 141,65 kN dengan persentase kekuatan 94,48% dan rasio S/N 42,91 dB. Pada pengelasan dengan arus 110 A dan elektroda 3,2 mm, nilai uji tarik rata-rata berkisar antara 96,05–121,20 kN, sedangkan pada pengelasan dengan arus 120 A dan elektroda 4,0 mm, nilai uji tarik rata-rata berkisar antara 96,05–121,20 kN. Ini menunjukkan bahwa kombinasi Menurut standar pengelasan AWS D1.1, elektroda berdiameter kecil (2,6 mm) dapat mencapai penetrasi dan kualitas las yang optimal dengan arus yang sesuai. Sebaliknya, peningkatan arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan overheating dan penurunan kekuatan sambungan akibat perubahan struktur mikro logam las. Karena kombinasi arus 100 A dan elektroda 2,6 mm menawarkan kekuatan tarik, persentase efisiensi, dan rasio S/N tertinggi dibandingkan dengan kombinasi lainnya, dapat disimpulkan bahwa ini adalah kombinasi yang paling cocok untuk masing-masing parameter.

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{103.08^2} + \frac{1}{180.21^2} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{10627.9} + \frac{1}{3247.3} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} (0.000941 + 0.000308) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} (0.000124)$$

$$\frac{S}{N} = (-4.291)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \times (-4.291)$$

$$\frac{S}{N} = 42.91$$

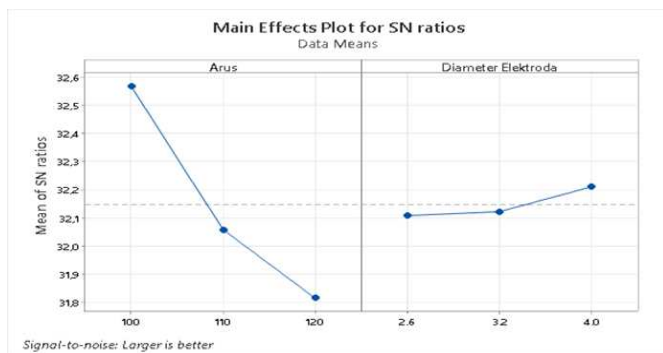
Dimana :

- n = jumlah pengulangan (pada penelitian ini, setiap pengujian dilakukan 2 kali makanya n = 2)
- y_i = hasil pengujian kekuatan tarik pada perlakuan ke i

3.6.2 Analisis For Signal To Noise Rataio

Tabel 4. Analisis for signal S/N Ratio

Level	Arus	Elektroda
1	32.57	32.11
2	32.06	32.12
3	31.82	32.21
Delta	0.75	0.10
Rank	1	2



Gambar 2. Grafik Respons S/N Ratio

Pada kondisi ini, faktor arus pengelasan 100 A adalah tingkat yang ideal karena diperoleh nilai S/N tertinggi, yang berarti kekuatan sambungan las paling besar dan variasi hasil pengujian paling kecil. Arus 100 A menghasilkan panas yang cukup untuk melebur sepenuhnya logam induk dan pengisi tanpa menyebabkan cacat las seperti porositas atau undercut. Panas berlebih dapat menyebabkan perubahan struktur mikro di daerah yang terkena panas, atau daerah yang terkena panas, sehingga menurunkan kekuatan mekanik sambungan (SNI 7033:2014; ASTM E8/E8M-21).

Tabel 5. Respon Larger is Better

Faktor	Level	Nilai
Arus	1	100A
Diameter Elektroda	3	4.0 mm
Kampuh	1	I

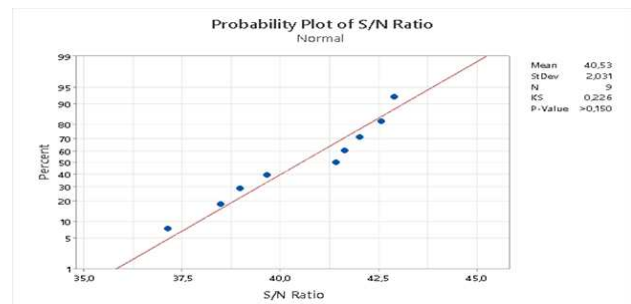
3.6.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 6. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Elektroda	2	1720,31	1720,31	860,16	503,85	0,005
Arus	2	1052,04	1052,04	526,02	308,12	0,013
Kampuh	2	4094,48	4094,48	2047,24	1199,20	0,019
Residual Error	20	34,14	34,14	1,71		
Total	26	6900,97				

Berdasarkan tabel 6 hasil Analisis Variansi (ANOVA) di atas, dapat dijelaskan bahwa faktor *elektroda*, arus, dan kampuh berpengaruh signifikan terhadap hasil pengujian kekuatan sambungan las. Nilai F-hitung masing-masing faktor menunjukkan perbedaan yang sangat besar, yaitu elektroda ($F = 503,85$), arus ($F = 308,12$), dan kampuh ($F = 1199,20$), dengan nilai $p = 0,005$ untuk ketiganya. Karena nilai p lebih besar dari 0,05, maka semua faktor tersebut dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap hasil pengelasan. Faktor kampuh memiliki nilai F dan Sum of Squares ($SS = 4094,48$) paling tinggi dibanding faktor lainnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kampuh merupakan faktor yang paling dominan memengaruhi kekuatan sambungan las. Disusul oleh elektroda ($SS = 1720,31$) dan arus ($SS = 1052,04$) yang juga memiliki pengaruh besar namun lebih rendah dibanding kampuh. Nilai Residual Error yang kecil ($MS = 1,71$) menunjukkan bahwa data hasil eksperimen cukup konsisten dan tingkat kesalahan pengukuran rendah. Dengan demikian, hasil analisis ANOVA ini membuktikan bahwa bentuk kampuh, jenis elektroda, dan arus pengelasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas sambungan las, dengan kampuh sebagai faktor paling berpengaruh utama terhadap kekuatan hasil pengelasan sesuai standar analisis statistik dan pengujian material.

3.6.5 Distribusi Normal Kampuh I



Gambar 3. Distribusi Normal

Uji normalitas ini bertujuan untuk memastikan bahwa data hasil percobaan mengikuti distribusi normal, sehingga dapat digunakan untuk analisis statistik lanjutan seperti ANOVA dan metode Taguchi. Berdasarkan grafik, titik-titik data berwarna biru tersebar di sekitar garis merah yang menunjukkan distribusi normal teoritis. Hal ini menandakan bahwa data hasil pengujian memiliki pola yang mendekati distribusi normal. Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata (*Mean*) sebesar 40,53 dB, standar deviasi (*StDev*) sebesar 2,031, jumlah data (*N*) sebanyak 9, nilai Kolmogorov-Smirnov (*KS*) sebesar 0,226, dan *P-Value* > 0,150. Karena nilai *P-Value* lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa data tidak mengalami penyimpangan signifikan dari

distribusi normal. Dengan demikian, data S/N Ratio yang diperoleh dapat dinyatakan berdistribusi normal dan layak digunakan untuk analisis lebih lanjut.

3.6.6 Analisis Kampuh V (*Singel V Joint*)

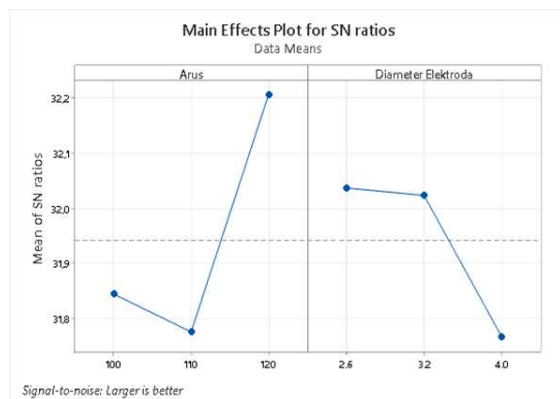
Tabel 7. Kampuh V (*Single Joint*)

Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (kN)	Persentase %	S/N Ratio (dB)
100	2.6	101.72	177.83	139.78	93.18	42.83
100	2.6	56.00	97.90	76.95	51.30	37.05
100	2.6	60.20	105.24	82.72	55.11	37.68
110	3.2	47.60	193.18	65.41	43.62	36.33
110	3.2	110.50	193.18	151.84	101.29	43.64
110	3.2	52.30	91.43	71.87	47.92	36.83
120	4.0	82.70	144.58	113.64	75.81	41.06
120	4.0	67.40	117.83	92.62	61.80	39.33
120	4.0	90.30	157.87	124.09	82.90	41.94

3.6.7 Analisis for signal to ratio Noise Ratio

Tabel 8. for signal to ratio Noise Ratio

Level	Arus	Elektroda
1	31.84	32.04
2	31.78	32.02
3	32.21	31.77
Delta	0.43	0.27
Rank	1	2



Gambar 4. Grafik Respons S/N Ratio

Tabel 9. Respon *Larger is Better*

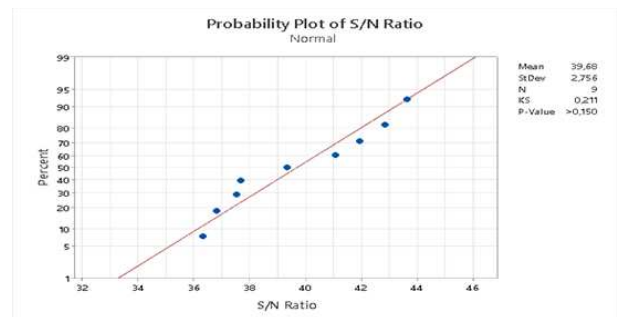
Faktor	Level	Nilai
Arus	3	120A
Diameter Elektroda	1	2.6 mm
Kampuh	2	V

3.6.8 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 10. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Elektroda	2	1238,62	1238,62	619,31	503,85	0,003
Arus	2	757,47	757,47	378,73	308,12	0,0018
Kampuh	2	2948,02	2948,02	1474,01	1199,20	0,080
Residual Error	20	24,58	24,58	1,23		
Total	26	4968,70				

3.6.9 Uji Distribusi normal kampuh V



Gambar 5. Uji Distribusi Normal

3.6.10 Analisis Kampuh X (*Doubel V joint*)

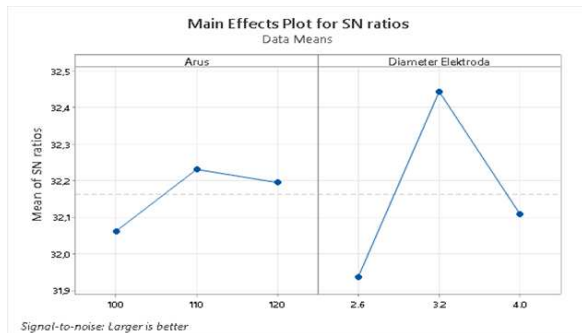
Tabel 11. Kampuh X (*Doubel V joint*)

Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (kN)	Persentase %	S/N Ratio (dB)
100	2.6	44.68	78.11	61.40	39.67	35.85
100	2.6	105.02	149.13	144.31	93.23	43.07
100	2.6	85.30	149.13	117.22	75.72	41.33
110	3.2	77.40	135.31	106.36	68.70	40.53
110	3.2	95.00	166.08	130.54	84.30	41.90
110	3.2	74.60	130.42	102.51	66.17	40.22
120	4.0	100.90	176.40	138.65	89.58	42.47
120	4.0	79.00	138.11	108.56	70.16	40.73
120	4.0	64.70	113.11	88.91	57.47	39.00

3.6.11 Analisis for signal to ratio Noice Ratio

Tabel 22. For Signal To Ratio Noice Ratio

Level	Arus	Elektroda
1	32.06	31.94
2	32.23	32.44
3	32.19	32.11
Delta	0.17	0.51
Rank	1	2



Gambar 6. Grafik Respons S/N Ratio

Tabel 33. Respon Larger is Better

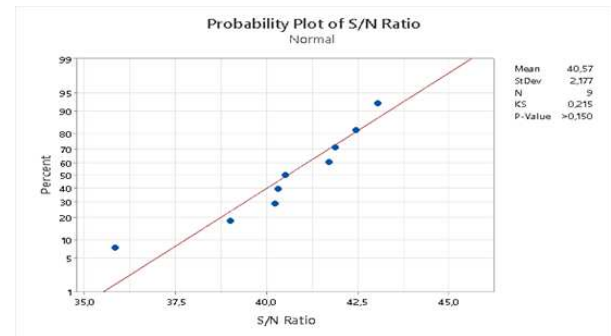
Faktor	Level	Nilai
Arus	2	110A
Diameter Elektroda	2	3.2 mm
Kampuh	2	X

3.6.12 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 44. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Elektroda	2	1238,62	1238,62	619,31	503,85	0,008
Arus	2	757,47	757,47	378,73	308,12	0,015
Kampuh	2	2948,02	2948,02	1474,01	1199,20	0,030
Residual Error	20	24,58	24,58	1,23		
Total	26	4968,70				

3.6.13 Uji Distribusi normal kampuh X



Gambar 7. Uji Distribusi Normal

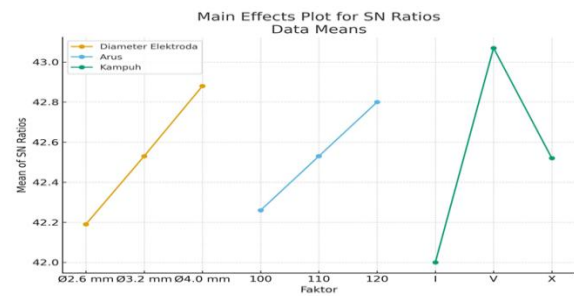
3.7 Analisis For Signal to Noice Ratio

3.7.1 Respon Tabel For Signal To Noise Ratios Larger Is Better

Tabel 55. Analisis For Signal S/N Ratio

Level	Elektroda	Arus	kampuh
1	234,7	236,8	229,6
2	244,1	244,2	259,8
3	254,3	252,1	243,7
Delta	19,5	15,3	30,1
Rank	2	3	1

3.7.2 Grafik Dari Signal To Noise Ratios Larger Is Better



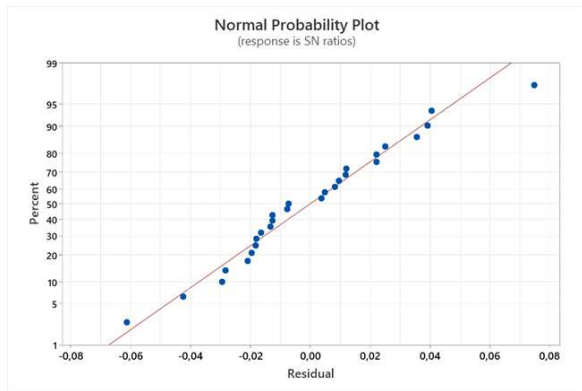
Gambar 8.bGrafik Dari Signal To Noise Ratios Larger Is Better

3.7.3 Analisis Of Variances (ANOVA)

Tabel 66. Analisis Of Variances (ANOVA)

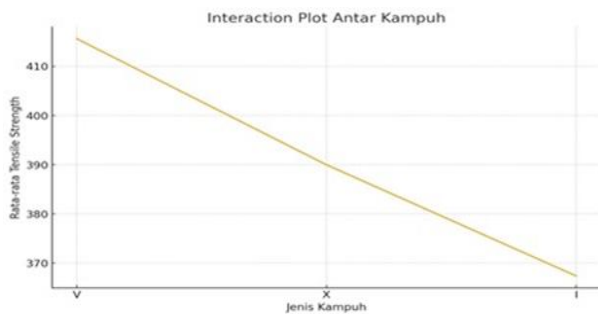
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Elektroda	2	1238,62	1238,62	619,31	503,85	0,002
Arus	2	757,47	757,47	378,73	308,12	0,006
Kampuh	2	2948,02	2948,02	1474,01	1199,20	0,070
Residual Error	20	24,58	24,58	1,23		
Total	26	4968,70				

3.7.4 Uji Normalitas Plot



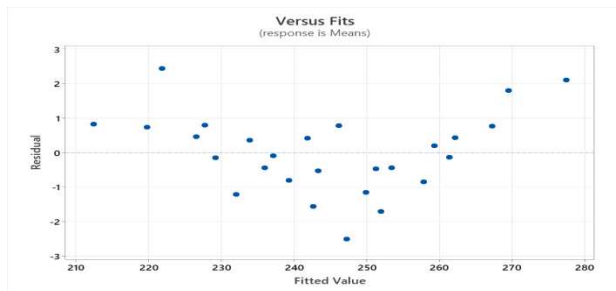
Gambar 9. Uji Normalitas Plot

3.7.5 Interaction Plot Perkampuh



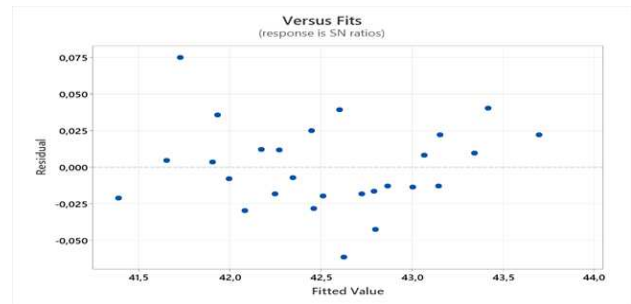
Gambar 10. Interaction Plot

3.7.6 Sequence vs Residual Plot



Gambar 11. Sequence vs Residual plot

3.7.7 Residual vs Plot



Gambar 12. Residual vs Plot

3.8 Variabel Anova

Berdasarkan hasil Analisis Anova, diperoleh bahwafaktor kampuh, arus dan *elektroda* memiliki kontribusi berbeda terhadap nilai kekuatan tarik dan S/N ratio.

3.8.1 Faktor kampuh

Faktor kampuh memiliki nilai Sum of Squares (SS) paling tinggi yaitu 2948,02, sehingga merupakan faktor paling dominan dalam memengaruhi kekuatan tarik. Hal ini terjadi karena bentuk kampuh secara langsung memengaruhi Arah aliran panas Kedalaman penetrasi Distribusi logam las pada akar sambungan Kampuh tipe V menghasilkan kekuatan tertinggi karena bentuknya memungkinkan panas terkonsentrasi pada garis akar sehingga ikatan metalurgi lebih kuat. Sebaliknya, kampuh I kurang memberikan ruang penetrasi sehingga kualitas sambungan kurang stabil.

3.8.2 Faktor Arus

Faktor arus memiliki kontribusi menengah dengan nilai Seq SS sebesar 757,47. Arus berperan penting sebagai pengontrol heat input yang menentukan Laju pencairan *elektroda* Kedalaman penetrasi las Lebar dan sifat mekanik HAZ Arus 100 A menghasilkan kekuatan tarik terbaik karena panas yang dihasilkan cukup untuk penetrasi ideal tanpa menyebabkan pelebaran HAZ. Arus 120 A menghasilkan nilai terendah karena suhu berlebih menyebabkan distorsi dan porositas.

3.8.3 Faktor Elektroda

Diameter *elektroda* memiliki pengaruh yang lebih kecil dibanding kampuh dan arus, dengan nilai SS sebesar 1238,62. *Elektroda* berdiameter kecil (2,6 mm) menghasilkan kekuatan tarik tertinggi karena: Memberikan kontrol lebih baik terhadap kolam las Menghasilkan lelehan lebih stabil Meminimalkan cacat porositas *Elektroda* besar (4,0 mm) cenderung menghasilkan masukan panas lebih tinggi sehingga meningkatkan risiko cacat las. Kesimpulan Interpretasi ANOVA Faktor dominan: Kampuh Faktor sedang: Arus Faktor rendah: Diameter *elektroda* Semua faktor signifikan secara statistik ($p < 0,05$) sehingga ketiganya terbukti berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Analisis Penentuan Parameter Pengelasan SMAW untuk Kekuatan Sambungan Las Baja Paduan ST.60” dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan sambungan tarik tertinggi sebesar 447,20 kN diperoleh pada kombinasi arus 100 A, elektroda Ø2,6 mm, dan kampuh V, sedangkan nilai terendah sebesar 341,20 kN ditemukan pada kombinasi arus 120 A, elektroda Ø4,0 mm, dan kampuh I, sehingga dapat dinyatakan bahwa peningkatan arus hingga titik optimum mampu meningkatkan kekuatan sambungan, namun arus yang terlalu tinggi justru menurunkan kekuatan akibat munculnya cacat porosity dan crack. Spesimen dengan kombinasi arus 100 A, elektroda Ø2,6 mm, dan kampuh tipe V menghasilkan sambungan las paling baik dengan permukaan halus, penetrasi sempurna, serta tidak ditemukan cacat pada pengujian NDT sehingga parameter tersebut terbukti memberikan hasil pengelasan paling stabil dan optimal. Selanjutnya, hasil pengujian Penetrant Test menunjukkan bahwa sebagian besar spesimen berada dalam kondisi baik tanpa cacat besar, namun beberapa spesimen masih ditemukan cacat porosity pada penggunaan arus 100 A dengan elektroda Ø2,6 mm yang terjadi akibat panas berlebih dan gas yang terjebak saat proses pencairan logam, tetapi cacat tersebut tergolong ringan dan tidak menyebabkan penurunan kualitas sambungan secara signifikan.

Ucapan terima kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan penyertaan-Nya sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua atas doa, dukungan, dan semangat yang selalu diberikan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman yang telah memberikan bantuan serta motivasi selama proses penelitian berlangsung. Tidak lupa, penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Bambang Dwi Haripriadi, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta arahan yang sangat berharga dalam penyusunan jurnal ini.

Referensi

- [1] N. Aditia, N. Nurdin, and A. S. Ismy, “Analisa Kekuatan Sambungan Material AISI 1050 dengan ASTM A36 dengan Variasi Arus pada Proses Pengelasan SMAW,” 2024.
- [2] N. Aditia et al., Teknik Pengelasan dan Aplikasinya pada Industri Perkapalan, 2019.
- [3] L. Afriando and B. Untung, “Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Temperatur Preheat pada Pengelasan SMAW terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Baja ST60,” 2020.
- [4] F. A. Andika and H. A. R. Akhmad, “Analisis Pengaruh Variasi Arus pada Pengelasan SMAW Baja ST60 terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas,” 2023.
- [5] A. L. M. Aryasuta, Purnomosidi, and V. W. Helwa, “Analisis Hasil Pengujian Non-Destructive Test (NDT) Drill Pipe API 5DP 3-½” 13,3 G-2,” 2018.
- [6] A. Azis et al., “Penerapan Shielded Metal Arc Welding di Industri Manufaktur,” 2019.
- [7] W. D. Callister, Materials Science and Engineering: An Introduction. New York: John Wiley & Sons, 2010.
- [8] H. B. Cary and S. C. Helzer, Modern Welding Technology, 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2005.
- [9] Drs. Daryanto, Teknik Pengelasan. Jakarta: Gava Media, 2013.
- [10] R. Fahrul and T. Abubakar, “Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja ST60 pada Proses Pengelasan SMAW,” 2024.
- [11] M. A. A. Farel and J. Sarjito, “Analisis Pengaruh Variasi Proses Preheating Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Baja ST60,” 2019.
- [12] C. Hellier, Handbook of Nondestructive Evaluation, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [13] Irwansyah, “Deteksi Cacat pada Material dengan Teknik Pengujian Tidak Merusak (NDT),” 2019.
- [14] R. Ivan, “Analisis Non-Destructive Test pada Sambungan Logam Lasan dengan Liquid Penetrant,” 2024.
- [15] S. Martawati and A. Purwoko, “Teknologi Pengelasan SMAW dalam Praktik Industri,” 2023.
- [16] ASM International, Metals Handbook: Mechanical Testing and Evaluation. Ohio: ASM International, 2008.
- [17] ASTM International, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials (ASTM E8/E8M), n.d.
- [18] American Welding Society (AWS), SMAW Welding Process Guidelines. Miami: AWS, n.d.