

Analisis Pengaruh Parameter Proses Pada Kualitas Las SMAW Baja Paduan *Stainless steel* 304

Muhammad Siraj Mahfud^a, Bambang Dwi Haripriadi^{a,*}, Agnes Arum Budiana^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 21 November 2025

Diterima setelah direvisi 1 Desember 2025

Disetujui 1 Desember 2025

Kata kunci:

SMAW

Stainless steel 304

Arus Pengelasan

Diameter Elektroda

Jenis Kampuh

Uji Tarik

Abstract-This study analyzes the effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) welding process parameter variations on the quality of welded joints in 304 *Stainless steel* by varying the current (65 A, 75 A, and 95 A), electrode diameter (2.0 mm; 2.6 mm; 3.2 mm), and weld type (I, V, and X). Evaluation is carried out through tensile tests to determine tensile load, stress, and strain, as well as Non-Destructive Test (NDT) dye penetrant method to detect surface defects. Taguchi L27 design is used to analyze the contribution of each parameter to the quality of the joint. The results show that current is the most influential factor on tensile strength, followed by electrode diameter and weld type. The optimal combination is obtained at a current of 95 A, a 3.2 mm electrode, and an X (double V) weld, with an average tensile load of 87.65 kN, a stress of 730.42 MPa, and a strain reaching 100% which shows the best mechanical performance. Overall, this study confirms that proper welding parameter settings are crucial for the mechanical integrity and quality of 304 *Stainless steel* welded joints.

Intisari-Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi parameter proses pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) terhadap kualitas sambungan las pada *Stainless steel* 304 dengan memvariasikan arus (65 A, 75 A, dan 95 A), diameter elektroda (2,0 mm; 2,6 mm; 3,2 mm), dan jenis kampuh (I, V, dan X). Evaluasi dilakukan melalui uji tarik untuk menentukan beban tarik, tegangan, dan regangan, serta uji Non-Destructive Test (NDT) metode dye penetrant untuk mendeteksi cacat permukaan. Desain Taguchi L27 digunakan untuk menganalisis kontribusi setiap parameter terhadap kualitas sambungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus merupakan faktor paling berpengaruh terhadap kekuatan tarik, diikuti diameter elektroda dan jenis kampuh. Kombinasi optimal diperoleh pada arus 95 A, elektroda 3,2 mm, dan kampuh X (double V), dengan nilai beban tarik rata-rata 87,65 kN, tegangan 730,42 MPa, serta regangan mencapai 100% yang menunjukkan performa mekanis terbaik. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pengaturan parameter pengelasan yang tepat sangat menentukan integritas mekanis dan kualitas sambungan las *Stainless steel* 304.

1. Pendahuluan

Stainless steel 304 atau baja tahan karat 304 banyak digunakan dalam industri, terutama untuk pembuatan tangki bahan bakar kendaraan dan sistem pembuangan (*exhaust*) karena memiliki ketahanan korosi yang sangat baik. Baja ini merupakan paduan besi dengan kandungan 18% Cr, 8,8% Ni, serta unsur lainnya dalam jumlah kecil yang membuatnya tahan terhadap oksidasi, bahan kimia bahan bakar, dan suhu tinggi [1]. Pengelasan sebagai teknologi fabrikasi utama berperan penting dalam menentukan kualitas, keandalan, dan keamanan struktur, sehingga keterampilan dan parameter pengelasan yang tepat sangat diperlukan menurut Setyowati dkk., [2] Pada material *Stainless steel* 304, proses penyambungan dapat dilakukan menggunakan GTAW maupun SMAW, namun SMAW lebih sering digunakan karena peralatan yang sederhana, portable, dan lebih ekonomis [3]-[5]. Untuk menghasilkan sambungan las yang berkualitas tinggi pada material *Stainless steel* 304 dengan ketebalan 6 mm, khususnya pada pembuatan tangki bahan bakar dan sistem exhaust, parameter seperti arus listrik, diameter elektroda, dan jenis kampuh sangat memengaruhi kekuatan mekanik dan ketahanan korosi sambungan agar

terhindar dari cacat seperti retak, undercut, maupun porositas [6]. Karena itu diperlukan pengujian untuk memastikan apakah parameter yang digunakan telah menghasilkan sambungan sesuai standar mutu, sekaligus mendeteksi ada atau tidaknya cacat [7]. Salah satu metode yang digunakan adalah uji tarik (*tensile test*) untuk mengetahui sifat mekanik seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, regangan, dan batas luluh material [8],[9]. Selama proses pengelasan, suhu tinggi dari busur listrik dapat memengaruhi mikrostruktur material, sehingga kontrol arus listrik, pemilihan diameter elektroda, dan jenis kampuh sangat penting untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama. Elektroda E308 umum digunakan pada pengelasan *Stainless steel* 304 untuk menghindari perubahan mikrostruktur yang merugikan [10]. Salah satu kendala umum adalah potensi korosi intergranular pada zona terpengaruh panas (HAZ), sehingga pengaturan parameter pengelasan harus dilakukan dengan tepat untuk menjaga kualitas lasan. Pengujian tarik dilakukan dengan menarik spesimen sampai patah untuk memperoleh nilai regangan, modulus elastisitas, tegangan luluh, dan tegangan tarik maksimum (UTS) [11]. Dengan mempertimbangkan pengaruh arus listrik dan diameter elektroda, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi parameter proses

* Corresponding Author:

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

pengelasan terhadap kualitas sambungan las pada *Stainless steel* 304 sehingga dapat diperoleh rekomendasi parameter optimal dalam meningkatkan kualitas las dan meminimalkan cacat.

2. Metodologi

2.1 Alat dan Bahan

Dalam penelitian pengujian parameter dengan menggunakan material *stainless steel* 304, maka peralatan dan bahan yang akan digunakan sebagai berikut:

2.1.1 Alat

Alat yang digunakan didalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Uji Tarik
 - Spesifikasi mesin uji tarik:
 - a. Kapasitas: 300 kN
 - b. Kecepatan (tanpa beban): 1–90 mm/menit c. Metode Tampilan: Dengan komputer
 - c. Rentang Beban: Tanpa batas (skala penuh)
 - d. Resolusi: 1/200.000 (atau 1/300.000 jika ditentukan)
 - e. Standar: ASTM E8
 - f. Ruang Maksimum: 460 mm
 - g. Penjepit untuk Batang (Rod Gig): Ø 10 – Ø 40 mm i. Penjepit untuk Pelat: 40 × 60 mm
 - h. Ruang Efektif #: 450 mm
 - i. Diameter Pelat Kompresi: Ø 100 mm
2. Mesin Las Listrik SMAW
 - Spesifikasi Mesin Las SMAW:
 - a. Daya listrik : 35.500 Watt
 - b. Volt: 50/60Hz
 - c. Arus output: 20-590 Ampere
 - d. Mesin Pemotong Besi
 - e. Gerinda Tangan

2.1.2 Bahan

1. Plat *Stainless Steel* 304
2. Elektroda E308

2.2 Model dan Perancangan

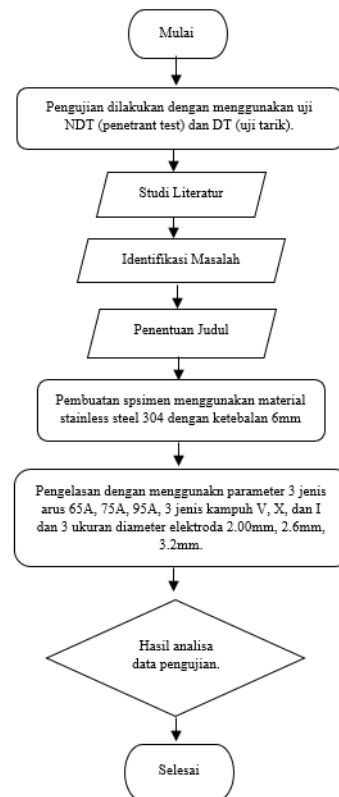
Teknik pengumpulan dan analisa data penelitian ini menggunakan metode taguchi array orthogonal L27 karena sangat relevan dan penting untuk dilakukan [12]. Metode ini memungkinkan kita untuk mengoptimalkan proses pengelasan dan mengidentifikasi parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap kualitas hasil pengelasan, seperti arus, ukuran diameter elektroda, dan jenis kampuh yang digunakan. Penggunaan array ini sangat efisien dan lebih hemat biaya karena mengurangi jumlah percobaan yang dilakukan, namun tetap memberikan data yang kuat untuk penelitian lebih lanjut.

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 analisis pengaruh parameter proses pada kualitas las SMAW baja paduan *Stainless steel* 304 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 NDT (*Non Destructive Test*) dan DT (*Destructive Test*). Pada saat dilakukannya pengujian catat nilai yang dikeluarkan dari hasil proses pengelasan tersebut dengan menggunakan metode taguchi orthogonal array L₂₇ lalu dianalisa dengan menggunakan metode Analysis of Variance (ANOVA). Setelah hasil data pengujian, didapatkanlah kesimpulan dari parameter proses pengelasan dan pengujian NDT dan DT.



Gambar 1. Diagram Alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Arud, Elektroda dan Kampuh

Jenis elektroda, variasi arus, dan bentuk kampuh merupakan komponen penting yang sangat memengaruhi kualitas hasil pengelasan,

baik dari segi kekuatan mekanik maupun integritas sambungan. Arus pengelasan berperan besar dalam menentukan seberapa dalam logam las dapat menembus logam dasar; arus yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penetrasi berlebih, percikan atau spatter, serta cacat seperti porositas dan undercut, sedangkan arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan kurangnya penetrasi, kurangnya fusi, dan sambungan yang lemah. Oleh karena itu, pemilihan arus yang tepat sangat penting untuk menghasilkan kualitas sambungan terbaik. Selain itu, kualitas las sangat dipengaruhi oleh jenis elektroda, karena pemilihan elektroda yang tidak tepat terhadap material dasar atau posisi pengelasan dapat menimbulkan cacat seperti slag inclusion dan retak. Desain kampuh juga berperan penting dalam menentukan hasil pengelasan, karena kampuh yang tidak sesuai dapat menyebabkan penetrasi dan penyatuan logam yang tidak merata sehingga kekuatan sambungan menurun [13]. Menurut American Welding Society [10], uji non-destruktif (*Non-Destructive Test/NDT*) dan uji tarik merupakan dua pengujian utama dalam evaluasi kualitas sambungan las. Metode NDT seperti uji penetrant (PT), radiografi (RT), dan ultrasonik (UT) digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan maupun internal seperti porositas, retak, kurang fusi, dan inklusi slag tanpa merusak spesimen. Sementara itu, uji tarik digunakan untuk mengetahui kekuatan sambungan las terhadap gaya tarik serta mengevaluasi pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik material. Martawati dkk., [14] menyatakan bahwa uji tarik merupakan metode penting untuk mengukur kemampuan sambungan las dalam menahan beban sesuai standar material, di mana hasil uji dapat menunjukkan kekuatan sambungan serta kelemahan akibat variasi parameter pengelasan seperti arus, elektroda, dan kampuh. Purwoko dkk., [15] menegaskan bahwa terjadinya patahan pada area las atau penurunan kekuatan tarik biasanya merupakan indikasi parameter pengelasan yang tidak sesuai. Uji tarik yang dikombinasikan dengan pengujian NDT memberikan penilaian yang lebih menyeluruh, karena NDT dapat mendeteksi cacat internal tanpa merusak spesimen, sedangkan uji tarik mengukur kekuatan mekaniknya secara langsung. Kombinasi kedua metode ini dinilai sangat efektif untuk mengevaluasi pengaruh variasi parameter pengelasan terhadap kualitas dan integritas sambungan.

3.2 Uji Penetrant Test (NDT)

Menurut Agustiarina dkk., [16] metode *liquid penetrant test (dye penetrant)* merupakan metode NDT yang paling sederhana namun mempunyai keunggulan berupa kecepatan dan keakuratan dalam mendeteksi defect yang ada di permukaan. Pengujian ini digunakan untuk menemukan cacat atau kerusakan pada permukaan material tanpa merusak struktur material tersebut. Uji penetrant terutama berhasil menemukan cacat seperti retakan (*cracks*), porositas (*porosity*), lubang kecil, atau ketidaksempurnaan lainnya pada permukaan material padat.

Tabel 1. Pengujian *penetrant test (NDT)*

No	Arus	Diametr Elektroda	Kampuh	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (KN)	Cacat yang di temukan
1	65	2.0	V	63.5	64.2	63.85	retak
2	65	2.0	X	64.8	65.1	64.95	-
3	65	2.0	I	62.7	63.4	63.05	porosity
4	65	2.6	V	66.8	67.3	67.05	-
5	65	2.6	X	68.2	68.8	68.5	-
6	65	2.6	I	65.1	66.2	65.65	porosity
7	65	3.2	V	69.5	70.1	69.8	-
8	65	3.2	X	70.4	70.7	70.55	-
9	65	3.2	I	68.3	68.9	68.6	-
10	75	2.0	V	70.8	71.5	71.15	-
11	75	2.0	X	72.1	73.0	72.55	-
12	75	2.0	I	70.0	70.6	70.3	-
13	75	2.6	V	74.0	74.8	74.4	-
14	75	2.6	X	75.3	76.1	75.7	-
15	75	2.6	I	72.6	73.4	73.0	-
16	75	3.2	V	77.8	78.3	78.05	-
17	75	3.2	X	79.1	80.0	79.55	-
18	75	3.2	I	76.3	77.0	76.65	-
19	95	2.0	V	80.2	81.0	80.6	-
20	95	2.0	X	82.0	82.7	82.35	-
21	95	2.0	I	79.4	80.0	79.7	-
22	95	2.6	V	83.0	83.7	83.35	-
23	95	2.6	X	84.3	85.0	84.65	-
24	95	2.6	I	82.1	82.7	82.4	-
25	95	3.2	V	86.2	86.8	86.5	-
26	95	3.2	X	87.3	88.0	87.65	-
27	95	3.2	I	85.0	85.8	85.4	-

3.3 Pengolahan Data Kampuh V

3.3.1 Analisis Kampuh V

Tabel 1. Data Hasil Uji Tarik Kampuh V

No	Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (kN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	S/N Ratio (dB)
1	65	2.0	63.5	64.2	63.85	532.08	73.81	36.10
4	65	2.6	66.8	67.3	67.05	558.75	77.50	36.52
7	65	3.2	69.5	70.1	69.80	581.67	80.69	36.87
10	75	2.0	70.8	71.5	71.15	592.92	82.24	37.04
13	75	2.6	74.0	74.8	74.40	620.00	85.98	37.43
16	75	3.2	77.8	78.3	78.05	650.42	90.22	37.85
19	95	2.0	80.2	81.0	80.60	667.50	93.19	38.12
22	95	2.6	83.0	83.7	83.35	697.75	96.36	38.41
25	95	3.2	86.2	86.8	86.50	720.83	100.00	38.73

Perhitungan nilai S/N ratio tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari sambungan pengelasan. Nilai sambungan pengelasan memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin bagus (*Larger is Better*). S/N ratio dari kualitas sambungan las tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan pada rumus 1 [17].

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

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{63.5^2} + \frac{1}{64.2^2} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4034.78} + \frac{1}{4129.07} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} (0.0002478 + 0.0002421) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} (0.0004899)$$

$$\frac{S}{N} = (0.00024495)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \times (-3.6112)$$

$$\frac{S}{N} = 36.11$$

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

3.3.2 Analisis for Signal to Noise Ratio

a) Respon Tabel for Signal to Noise Ratio Larger is Better

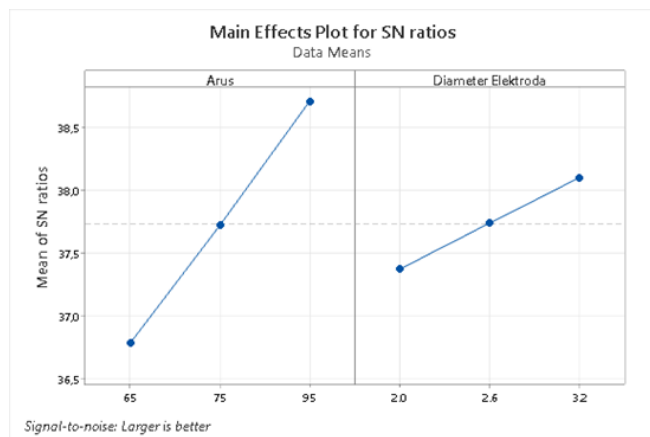
Seperti yang ditunjukkan dalam tabel rasio respon rata-rata S/N untuk setiap level faktor, faktor arus memiliki nilai delta tertinggi, yaitu 1,93, sedangkan faktor elektroda memiliki nilai delta terkecil, yaitu 0,73. Nilai delta menunjukkan perbedaan antara nilai rata-rata terbesar dan terkecil pada setiap faktor, sehingga semakin besar nilai delta faktor tersebut terhadap respons. Hasil menunjukkan bahwa faktor arus memiliki pengaruh yang paling besar terhadap respon dibandingkan dengan variasi diameter elektroda. Faktor arus berada di peringkat pertama, atau peringkat 1, yang berarti memiliki pengaruh yang paling besar terhadap hasil pengelasan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa faktor arus memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap respon daripada faktor elektroda.

Tabel 2. Analisis For Signal to noise ration

Level	Arus	Elektroda
1	36.78	37.37
2	37.72	37.74
3	38.71	38.10
Delta	1.93	0.73
Rank	1	2

b) Grafik dari Signal To Noise Ratio Larger is Better

Berdasarkan data hasil rata-rata nilai S/N Ratio pada tabel respon di 4.3, diperoleh grafik respon S/N Ratio yang ditampilkan pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 2. grafik respons S/N ratio

Tabel 3. Response Large is Better

Faktor	Level	Nilai
Arus	3	95 A
Diameter Elektroda	3	3,2mm
Kampuh	2	V

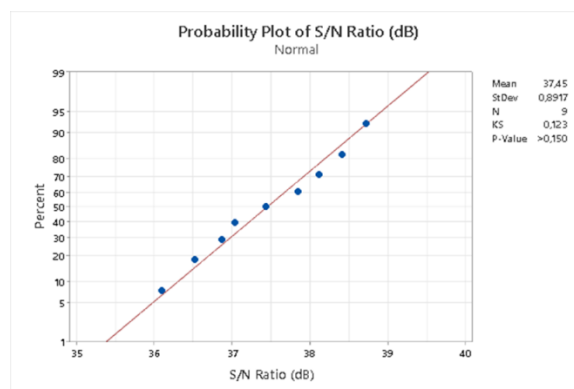
3.3.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 4. Analysis of Variance (ANOVA)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus (A)	2	258.70	258.70	129.35	35.24	0.003
Diameter Elektroda	2	46.25	46.25	23.13	6.30	0.048
Error	4	14.68	14.68	3.67	-	-
Total	8	319.63	-	-	-	-

Dengan nilai $F = 35,24$ dan $P = 0,003$, yang lebih rendah dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, terlihat bahwa faktor arus pengelasan memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Ini menunjukkan bahwa variasi arus benar-benar mempengaruhi hasil pengelasan. Faktor diameter elektroda juga berpengaruh, tetapi dengan tingkat signifikansi yang lebih kecil ($P = 0,048$). Ini menunjukkan bahwa faktor tersebut masih berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Faktor arus (A) memberikan kontribusi terbesar terhadap respon, seperti yang ditunjukkan oleh hasil perbandingan delta tertinggi pada tabel rasio S/N. Oleh karena itu, dengan penggunaan elektroda berdiameter 3,2 mm, kekuatan sambungan terbaik sebesar 86,50 kN dengan rasio S/N 38,73 dB dihasilkan.

3.3.4 Uji Distribusi Normal Kampuh V



Gambar 3. Uji Distribusi Normal

Gambar 3. menunjukkan plot probabilitas nilai S/N Ratio (dB) yang digunakan untuk menentukan apakah data berdistribusi normal atau tidak. Pada grafik, titik biru menunjukkan data hasil pengukuran, dan garis merah menunjukkan distribusi normal teoretis. Karena nilai p-value lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05, hasil analisis menunjukkan bahwa data mengikuti distribusi normal, dengan nilai p-value lebih besar dari 0,150. Data juga tampaknya tidak memiliki penyimpangan yang signifikan dan cukup mengikuti garis normal. Dengan nilai mean 37,45 dB dan standar deviasi 0,8917, dapat disimpulkan bahwa rasio data S/N memiliki distribusi yang normal dan konsisten.

3.4 Pengolahan Data Kampuh X (Double V)

3.4.1 Analisis Kampuh X (double V)

Tabel 5. Data Hasil Uji Tarik Kampuh X

No	Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik		Rata-Rata (kN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	S/N Ratio (dB)
			1 (kN)	2 (kN)				
2	65	2.0	64.8	65.1	64.95	541.25	74.09	36.26
5	65	2.6	68.2	68.8	68.50	569.17	78.18	36.71
8	65	3.2	70.4	70.7	70.55	587.92	80.51	36.96
11	75	2.0	72.1	73.0	72.55	604.58	82.78	37.21
14	75	2.6	75.3	76.1	75.70	630.83	86.39	37.58
17	75	3.2	79.1	80.0	79.55	666.67	90.75	38.00
20	95	2.0	82.0	82.7	82.35	689.17	96.58	38.31
23	95	2.6	84.3	85.0	84.65	705.42	96.58	38.55
26	95	3.2	87.3	88.0	87.65	730.42	100.00	38.85

Perhitungan nilai S/N ratio tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari sambungan pengelasan. Nilai sambungan pengelasan memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin bagus (*Larger is Better*). S/N ratio dari kualitas sambungan las tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan pada rumus di 2.

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

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{64.8^2} + \frac{1}{65.1^2} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4203.04} + \frac{1}{4248.01} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} (0.000238 + 0.000235) \right)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} (0.0002365)$$

$$\frac{S}{N} = (-3.626)$$

$$\frac{S}{N} = -10 \times (-3.626)$$

$$\frac{S}{N} = 36.26$$

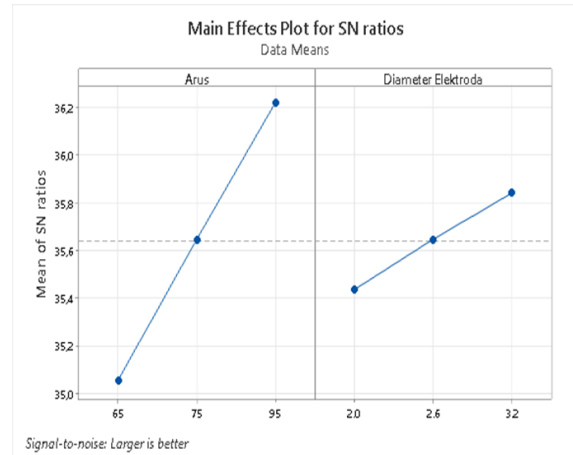
Dimana :

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

a) Respon Tabel for Signal to Noise Ratio Larger is Better

Tabel 7. Analisis For Signal to Noice Ration

Level	Arus	Elektroda
1	35.06	35.43
2	35.65	35.65
3	36.22	35.84
Delta	1.17	0.41
Rank	1	2



Gambar 4. Grafik respons S/N Ratio

Tabel 6. Respon Larger is Better

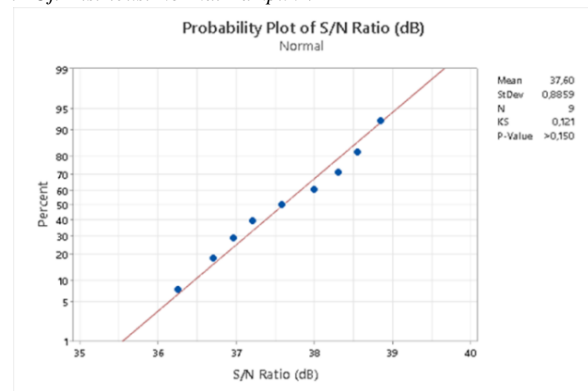
Faktor	Level	Nilai
Arus	3	95 A
Diameter Elektroda	3	3.2mm
Kampuh	2	X

3.4.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 7. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus (A)	2	3.726	3.726	1.863	49.08	0.020
Diameter Elektroda	2	0.518	0.518	0.259	6.82	0.128
Kampuh	1	0.742	0.742	0.742	19.55	0.048
Error	3	0.114	0.114	0.038	-	-
Total	8	5.100	-	-	-	-

3.4.4 Uji Distribusi Normal Kampuh V



Gambar 5. Uji Distribusi Normal

3.5 Pengolahan Data Kampuh I

3.5.1 Analisis Kampuh I

Tabel 8. Data Hasil Uji Tarik Kampuh I

No	Arus (A)	Elektroda (mm)	Uji Tarik 1 (kN)	Uji Tarik 2 (kN)	Rata-Rata (kN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	S/N Ratio (dB)
3	65	2.0	62.7	63.4	63.05	525.42	73.80	35.98
6	65	2.6	65.1	66.2	65.65	547.08	76.92	36.34
9	65	3.2	68.3	68.9	68.60	571.67	80.29	36.73
12	75	2.0	70.0	70.6	70.30	589.17	82.78	36.94
15	75	2.6	72.6	73.4	73.00	608.33	85.51	37.27
18	75	3.2	76.3	77.0	76.65	638.75	89.78	37.67
21	95	2.0	79.4	80.0	79.70	664.17	93.34	38.00
24	95	2.6	82.1	82.7	82.40	686.67	96.50	38.31
27	95	3.2	85.0	85.8	85.40	711.67	100.00	38.66

Perhitungan nilai *S/N ratio* tergantung pada jenis karakteristik kualitas dari sambungan pengelasan. Nilai sambungan pengelasan memiliki karakteristik kualitas semakin besar semakin bagus (*Larger is Better*). *S/N ratio* dari kualitas sambungan las tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan pada rumus 3.

$$\frac{s}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \tag{3}$$

$$\frac{s}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{62.7^2} + \frac{1}{63.4^2} \right) \right)$$

$$\frac{s}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{3931.29} + \frac{1}{4019.56} \right) \right)$$

$$\frac{s}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{2} (0.000254 + 0.000248) \right)$$

$$\frac{s}{N} = -10 \log_{10} (0.000251)$$

$$\frac{s}{N} = (-3.598)$$

$$\frac{s}{N} = -10 \times (-3.598)$$

$$\frac{s}{N} = 35.98$$

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

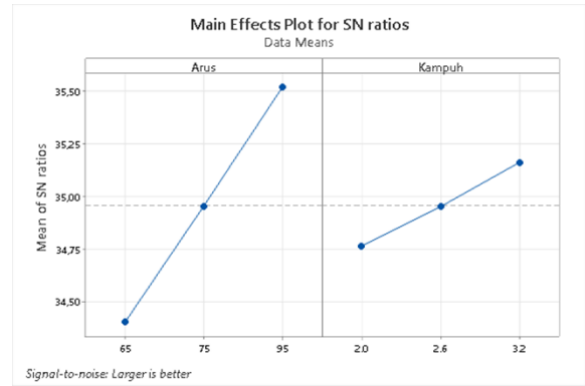
3.5.2 Analisis for Signal to Noise Ratio

a) Respon Tabel for Signal to Noise Ratio Larger is Better

Tabel 11. Analisis For Signal to Noise Ration

Level	Arus	Elektroda
1	34.40	34.76
2	34.95	34.95
3	35.52	35.16
Delta	1.12	0.40
Rank	1	2

b) Grafik dari *Signal To Noise Ratio Larger is Better*



Gambar 6. Grafik respons S/N Ratio

Tabel 9. Respon Larger is Better

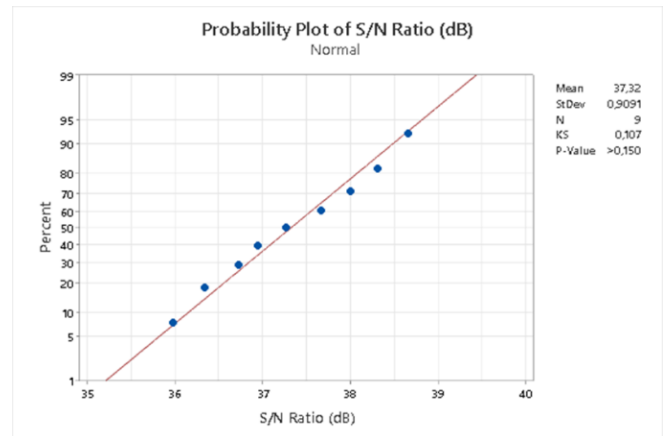
Faktor	Level	Nilai
Arus	3	95 A
Diameter Elektroda	3	3.2mm
Kampuh	2	1

3.5.3 Analysis of Variance (ANOVA)

Tabel 10. Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Arus (A)	2	2.161	2.161	1.080	10.80	0.023
Diameter Elektroda	2	0.585	0.585	0.292	2.92	0.145
Kampuh	1	0.400	0.400	0.400	4.00	0.090
Error	3	0.000	0.000	0.000	-	-
Total	8	3.146	-	-	-	-

3.5.4 Distribusi Normal Kampuh I



Gambar 7. Uji Distribusi Normal

3.6 Rancangan Eksperimen

Tabel 11. Variabel dan Label yang Digunakan dalam Penelitian

Sample	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
A	Arus	65 A	75 A	95 A
B	Diameter E	2.0	2.6	3.2
C	Kampuh	V	X	I

Tabel 14 menunjukkan variabel dan level yang digunakan dalam studi ini. Tiga parameter utama digunakan: arus pengelasan, diameter elektroda, dan bentuk kampuh. Ada tiga level untuk parameter arus, yaitu 65 A, 75 A, dan 95 A; untuk diameter elektroda, ada tiga level, yaitu 2.0 mm, 2.6 mm, dan 3.2 mm. Untuk bentuk kampuh, ada tiga jenis, yaitu kampuh V, kampuh X, dan kampuh I. Setiap kombinasi level dari masing-masing parameter digunakan untuk mengukur dampaknya terhadap hambatan.

3.7. Pengumpulan Data dan Analisis Data

Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu plat *Stainless steel* 304 yang dipotong dengan ukuran panjang 200 mm dan lebar 20 mm, dan dipotong sebanyak 27 spesimen setelah itu dilakukan pengelasan dengan menggunakan 3 parameter yaitu arus, diameter elektroda, dan kampuh. Arus yang digunakan (65A, 75A dan 95A), diamter elektroda yang digunakan (2.0 mm, 2.6 mm, dan 3.2 mm), kampuh pengelasan (X, V, dan I) yang selanjutnya akan dilakukan pengujian NDT (pengujian tanpa merusak), untuk mengevaluasi integritas, kualitas, dan keandalan material yang berupa *penetrant test* dan pengujian DT (dengan cara merusak), untuk menentukan batas kekuatan sambungan material uji tarik digunakan pada penelitian ini. Untuk mendapatkan nilai dari kekuatan sambungan las pada masing-masing parameter yang ditentukan pada material *Stainless steel* tersebut.

3.8 Pengolahan Data

Setelah data kekuatan tarik rata-rata untuk setiap variasi parameter pengelasan diperoleh, langkah selanjutnya adalah menentukan rasio *Signal to Noise* atau *S/N*. Tujuan perhitungan ini adalah untuk menemukan kombinasi parameter pengelasan yang paling efektif untuk membuat sambungan las dengan kekuatan tarik terbaik. Ini juga bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing parameter terhadap kualitas sambungan. Kriteria "Lebih besar adalah lebih baik" digunakan dalam penelitian ini karena semakin tinggi nilai kekuatan tarik yang diperoleh, semakin baik kualitas sambungan las yang dibuat. Perhitungan rasio *Signal to Noise (S/N)* disesuaikan dengan karakteristik kualitas dari respon yang diamati. Dalam penelitian ini, nilai *S/N ratio* untuk respon kekuatan tarik dihitung menggunakan persamaan yang sesuai dengan kriteria "semakin besar semakin baik". Ini karena respon kekuatan tarik memiliki karakteristik kualitas "semakin besar semakin baik". Ini menghasilkan kombinasi parameter proses yang menghasilkan kekuatan sambungan yang optimal. Dapat dilihat pada rumus (4.5):
Rumus Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang: } A &= \text{lebar} \times \text{tebal} & (5) \\
 A &= 20 \text{ mm} \times 6 \text{ mm} = 120 \text{ mm}^2 \\
 \text{Gaya Tarik (F): } F &= \sigma \times A \\
 F &= 520 \text{ MPa} \times 120 \text{ mm}^2 = 62.4 \text{ kN (minimum)} \\
 F &= 750 \text{ MPa} \times 120 \text{ mm}^2 = 90.0 \text{ kN (maksimum)} \\
 \text{S/N Ratio: } S/N &= 20 \times \log_{10}(\text{Rata-rata})
 \end{aligned}$$

3.9 Analisis For Signal to Noise Ratio

Digunakan untuk mengukur kestabilan dan konsistensi hasil suatu proses terhadap gangguan atau variasi yang tidak diinginkan, analisis *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)* adalah metode statistik. Dalam metode Taguchi, *S/N Ratio* sangat penting untuk menemukan kombinasi faktor kontrol yang menghasilkan nilai respon yang paling optimal dengan tingkat variasi yang paling kecil, sehingga kualitas produk dan proses dapat ditingkatkan secara signifikan. Sementara noise menunjukkan tingkat variasi atau gangguan yang terjadi selama proses, nilai signal menunjukkan besarnya respon utama atau rata-rata hasil yang diinginkan. Akibatnya, kualitas dan keandalan hasil proses berkorelasi positif dengan nilai *S/N*. Banyak penelitian eksperimental menggunakan analisis ini untuk mengevaluasi pengaruh parameter terhadap hasil uji dan memastikan bahwa sistem yang dibuat berfungsi dengan baik terhadap variasi eksternal (Montgomery, 2019; Taguchi, Chowdhury, & Wu, 2005).

4. Simpulan

Hasil penelitian “Analisis Pengaruh Variasi Arus, Diameter Elektroda, dan Jenis Kampuh terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las pada Material Baja Tembaga 304 dengan Metode SMAW” menunjukkan bahwa peningkatan arus dan diameter elektroda berpengaruh positif terhadap nilai regangan, tegangan, dan kekuatan tarik, di mana kombinasi arus 95 A, elektroda 3,2 mm, dan kampuh X (Double V) menghasilkan performa terbaik dengan tegangan 730,42 MPa, regangan 100%, dan beban tarik rata-rata 87,65 kN, sedangkan kombinasi arus 65 A, elektroda 2,0 mm, dan kampuh I menunjukkan kualitas terendah. Analisis ANOVA dan nilai *S/N Ratio* mengonfirmasi bahwa arus merupakan parameter paling berpengaruh karena menentukan jumlah panas dan penetrasi las, diikuti jenis kampuh dan diameter elektroda yang memengaruhi distribusi panas serta volume logam pengisi. Hasil Non-Destructive Test (NDT) metode dye penetrant juga memperlihatkan bahwa kombinasi parameter terbaik tersebut menghasilkan sambungan tanpa cacat, sementara kampuh I dengan arus rendah dan elektroda kecil menunjukkan cacat seperti porositas dan kurang fusi, serta kampuh V pada arus sedang masih menunjukkan indikasi cacat halus. Secara keseluruhan, kampuh X dengan arus tinggi dan elektroda besar memberikan kualitas sambungan paling optimal.

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. dan Ibu Agnes Arum Budiana, S.Pd., M.Pd. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta arahan yang sangat berharga dalam penyusunan jurnal ini.

Referensi

- [1] Mulyana, Yayan dan Irwan Yusril (2021). Pengaruh Besar Arus Pengelasan SMAW Pada Pengelasan Baja Tahan Karat Austenitik Terhadap Kekuatan Tarik & Kekerasan. Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [2] Setyowati, Ayu Vuri, Eriek Wahyu Restu Widodo, Suheni (2016). Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan *Stainless steel* 304. Program Studi Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [3] International. (2015). Standard Specification for *Stainless steel* Bars and Shapes (ASTM A276/A276M-15).
- [4] Hanggara, Arie Bayu dan Harahap R. Muksin (2019). Pengaruh Posisi Pengelasan SMAW dengan Variasi Posisi Elektroda E3086 Terhadap Kekuatan Impak pada *Stainless steel* AISI 304. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UISU.
- [5] Salim, Victor, Rosehan, Lubis Yamin Sobron (2023). Analisis Dampak Perubahan Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan Las Pada Material *Stainless steel* 316. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.
- [6] Pratama, Yundia Olivian dan Yunus (2024). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Diameter Elektroda Metode Pengelasan SMAW pada Material *Stainless Steel* 304 Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.
- [7] Sugestian, Rizsaldy M (2019). Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW Vertical Horizontal Down Hand Pada Plate Baja JIS 3131SPHC dan *Stainless steel* 201 Dengan Aplikasi Piles Transfer di Mesin Thermoforming (Stacking Unit). Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
- [8] Aditia, Nurdin, Ismy Adi Saputra (2019). Analisa Kekuatan Sambungan Material AISI 1050 Dengan ASTM A36 Dengan Variasi Arus Pada Proses Pengelasan SMAW. Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [9] Azis, Abdul Rizal, Suharno, Saputro Herman (2019). Pengaruh Variasi Diameter Elektroda E7018 Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Jenis SS400 engan Metode SMAW. Program Studi Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- [10] Endramawan, Tito, Haris Emin, Dionisius Felix, Prika Yuliana (2017). Aplikasi Non. Destructive Test Penetrant Testing (NDT-PT) Untuk Analisis Hasil Pengelasan SMAW 3G Butt Joint. Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Indramayu.
- [11] American Welding Society. (n.d.). AWS – American Welding Society.
- [12] Mazwan, Mazwan, Satrio Darma Utama, and Ridhani Anita Fajardini. "Investigasi Gaya Potong, Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat Pada Proses Bubut Baja Menggunakan Teknik Pelumasan Minimum Quantity Lubrication (MQL) Berbasis Minyak Nabati." ROTASI 26.2: 15-22.
- [13] Zulfadly, dan Ghony Abdul Muhammad (2022). Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi Down Hand. Program Studi Teknik Perawatan Alat Tambang Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam.
- [14] Martawati, M. E., Fachrudin, A. R., & Astuti, F. A. F. (2023). Pelatihan Pengelasan SMAW Pada Para Pemuda Oro-Oro Ombo Kecamatan Batu Kota Batu. JPEMAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat.
- [15] Purwoko, M. S., Romadhoni, R., & Satria, B. (2021). Pelatihan pengelasan SMAW untuk masyarakat kurang mampu Desa Kuala Alam. Tanjak: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat.
- [16] Agustiarina, Niken dan Putri Primary Nugrahani (2020). Deposisi Lapisan Tipis Polianialin Dengan Metode Elektrokimia. Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya.
- [17] Mazwan, Mazwan, and Bambang Dwi Haripriadi. "Analisa Burr Pada Proses End-Milling Baja Karbon Lunak Profil Siku Menggunakan CNC Router." Jurnal Inovator 7 (2024): 5-10.