

Analisis Pengaruh Geometri Kampuh dan Arus SMAW terhadap Kekuatan Tarik Baja SS400 Menggunakan Metode Taguchi

^{1*}Iwan Ahmad, ²Mahros Darsin, ³Yuni Hermawan, ⁴Agus Triono,

¹ Teknik Mesin, Universitas Jember

² Teknik Mesin, Universitas Jember

³ Teknik Mesin, Universitas Jember

⁴ Teknik Mesin, Universitas Jember

E-mail: *¹221910101026@mail.unej.ac.id, ²mahros.teknik@unej.ac.id,

³197506152002121008@mail.unej.ac.id, ⁴agustriono@unej.ac.id

Penulis Korespondens : Iwan Ahmad

Abstrak—Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) banyak digunakan dalam industri manufaktur karena kemampuannya menghasilkan sambungan yang kuat dan ekonomis. Kualitas sambungan las dipengaruhi oleh berbagai parameter, termasuk geometri kampuh dan arus pengelasan, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* terhadap kekuatan tarik sambungan baja karbon rendah SS400. Metode Taguchi digunakan untuk merancang eksperimen dan analisis ANOVA digunakan untuk mengevaluasi pengaruh setiap parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kampuh merupakan faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik, sedangkan arus pengelasan dan *root gap* tidak berpengaruh yang signifikan. Kombinasi parameter optimal diperoleh pada sudut kampuh 70 derajat, *root gap* 1 mm, dan arus pengelasan 75 A. Struktur mikro yang terbentuk sesuai dengan karakteristik baja SS400. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi geometri kampuh dapat meningkatkan kualitas sambungan las SMAW pada baja SS400.

Kata Kunci— Baja SS400, Geometri Kampuh, Kekuatan Tarik, Metode Taguchi, SMAW

Abstract— *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) is widely used in the manufacturing industry due to its ability to produce strong and cost-effective welded joints. The quality of welded joints is influenced by several parameters, including groove geometry and welding current, making it necessary to determine the optimal parameter combination. This study aims to analyze the effects of welding current, groove angle, and root gap on the tensile strength of SS400 low-carbon steel welded joints. The Taguchi method was employed to design the experiments, while Analysis of Variance was used to evaluate the significance of each parameter. The results indicate that groove angle is the most significant factor affecting tensile strength, whereas welding current and root gap have no significant effect. The optimal parameter combination was 70° groove angle, 1 mm root gap, and 75 A welding current. The observed microstructure was consistent with the characteristics of SS400 steel. These findings demonstrate that optimizing groove geometry can improve the quality and mechanical performance of SMAW-welded joints on SS400 steel.

Keywords— SS400 Steel, Groove Geometry, Taguchi Method, Tensile Strength, SMAW

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat dan permanen. Pengelasan cair adalah proses penyambungan logam dengan memanaskan material hingga mencair menggunakan sumber energi panas sehingga terbentuk ikatan antarlogam setelah membeku kembali [1]. Salah satu metode yang umum diterapkan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), yang menggunakan busur listrik dan elektroda terbungkus sebagai sumber panas sekaligus logam pengisi. Kualitas sambungan las SMAW dipengaruhi oleh berbagai parameter, terutama arus pengelasan dan geometri kampuh. Arus pengelasan menentukan besarnya masukan panas (*heat input*), di mana arus yang terlalu rendah dapat menyebabkan penetrasi dangkal dan busur tidak stabil, sedangkan arus yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan distorsi serta menurunkan kekuatan sambungan [2]. Selain itu, geometri kampuh yang meliputi sudut kampuh dan *root gap* turut memengaruhi aliran logam cair, kedalaman penetrasi, dan potensi terbentuknya cacat las, sehingga pemilihan parameter yang tepat menjadi faktor penting dalam memperoleh kekuatan tarik sambungan yang optimal [3].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las. Variasi arus pengelasan SMAW memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan baja, di mana arus 90 A menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi [3]. Selanjutnya, variasi sudut kampuh V pada baja SS400 ditemukan memengaruhi pembentukan struktur mikro dan sifat mekanik sambungan las, dengan sudut 60° menghasilkan karakteristik yang paling optimal [4]. Di sisi lain, kualitas penetrasi dan kekuatan tarik sambungan juga dipengaruhi oleh variasi *root gap*, sehingga pemilihan celah akar yang sesuai menjadi faktor penting dalam proses pengelasan [5].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu hanya membahas pengaruh arus pengelasan, sudut kampuh, atau *root gap* secara terpisah. Kajian yang menganalisis pengaruh ketiga parameter tersebut secara simultan terhadap pengelasan SMAW pada baja SS400 masih relatif terbatas. Selain itu, informasi mengenai kontribusi masing-masing parameter terhadap kekuatan tarik sambungan las serta hubungannya dengan karakteristik struktur mikro dan fraktografi masih perlu diteliti lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400. Metode Taguchi digunakan untuk menentukan kombinasi parameter yang optimal dengan jumlah percobaan yang efisien, sedangkan *Analysis of Variance* (ANOVA) digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kontribusi masing-masing faktor terhadap respons kekuatan tarik. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai parameter pengelasan yang optimal sehingga dapat meningkatkan kualitas sambungan las baja SS400 serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian pengelasan di masa mendatang.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh arus pengelasan dan geometri kampuh terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400. Perancangan eksperimen dilakukan menggunakan metode Taguchi dengan matriks ortogonal L9 (3^3) yang terdiri atas tiga faktor dan tiga level. Variabel yang diteliti meliputi arus pengelasan, sudut kampuh V, dan *root gap*, sedangkan respons yang diamati adalah kekuatan tarik sambungan las.

A. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja SS400 sebagai logam induk. Untuk elektroda digunakan E6013 dengan diameter 2 mm sebagai logam pengisi pada proses pengelasan SMAW. Baja SS400 banyak digunakan karena memiliki kemampuan las yang baik serta sifat mekanik yang memadai [6]. Sifat mekanik material yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanik baja ss400

Grade	Yield Strength min (MPa)		Tensile Strength (MPa)
	<i>Thickness <16mm</i>	<i>Thickness >16mm</i>	
SS400	245	235	400-510

B. Desain Eksperimen Taguchi

Perancangan eksperimen pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk menganalisis pengaruh parameter pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400. Metode Taguchi dipilih karena mampu mengoptimalkan jumlah percobaan sehingga lebih efisien tanpa mengurangi kemampuan analisis pengaruh faktor terhadap respon penelitian [7]. Faktor yang digunakan masing-masing terdiri dari tiga level. Faktor dan level penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor dan level penelitian

Kode	Faktor	Level		
		1	2	3
A	Arus (A)	55	65	75
B	Sudut V (°)	50	60	70
C	<i>Root gap</i> (mm)	0,5	1	1,5

Berdasarkan jumlah faktor dan level yang digunakan, dipilih matriks ortogonal L9 (3^3) yang terdiri atas sembilan kombinasi percobaan. Kombinasi percobaan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Matriks orthogonal L9 (3³)

Percobaan	Kode Parameter		
	A	B	C
1	55	50	0,5
2	55	60	1
3	55	70	1,5
4	65	50	1
5	65	60	1,5
6	65	70	0,5
7	75	50	1,5
8	75	60	0,5
9	75	70	1

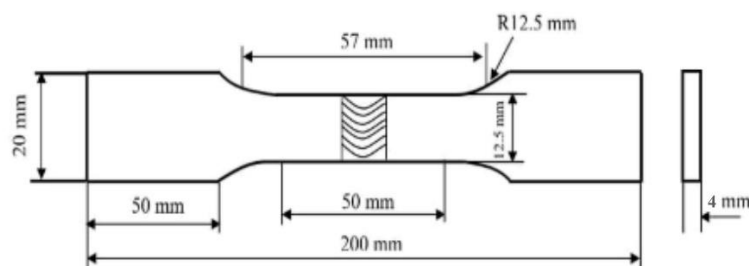
C. Signal to Noise Ratio

Signal-to-Noise (S/N) Ratio pada metode Taguchi digunakan untuk mengevaluasi pengaruh parameter proses terhadap respons penelitian serta menentukan kombinasi parameter yang menghasilkan performa optimum. Selain itu, S/N Ratio pada metode Taguchi digunakan untuk mengevaluasi pengaruh parameter terhadap respons [8]. Pada penelitian ini, respons yang diamati adalah kekuatan tarik sambungan las, sehingga karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Larger is Better* karena nilai kekuatan tarik yang diharapkan adalah sebesar mungkin. Nilai S/N Ratio dihitung menggunakan Persamaan (1).

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

D. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum sambungan las SMAW pada baja SS400. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan mengacu pada standar ASTM E8. Dimensi spesimen uji tarik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi spesimen ASTM E8

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik sambungan las SMAW pada setiap kombinasi parameter penelitian. Setelah pengujian, spesimen mengalami patah akibat pembebanan tarik hingga mencapai beban maksimum. Gambar 3 menunjukkan kondisi spesimen setelah dilakukan pengujian tarik.



Gambar 2. Spesimen setelah uji tarik

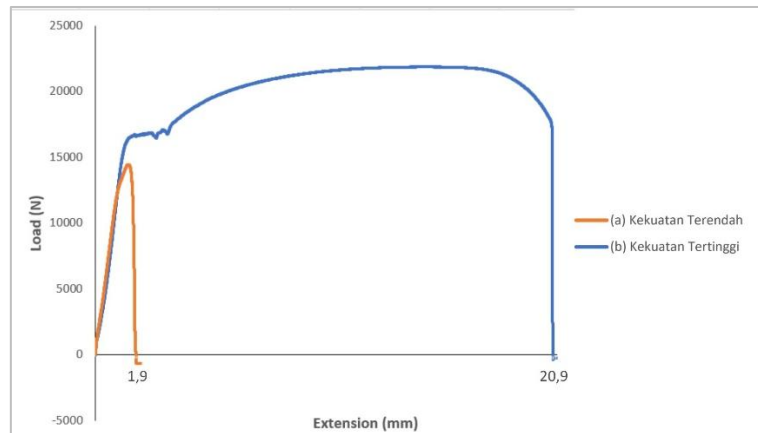
Nilai kekuatan tarik sambungan las SMAW pada setiap percobaan diperoleh melalui pengujian tarik sesuai standar ASTM E8. Hasil pengujian tarik untuk seluruh kombinasi parameter penelitian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data hasil pengujian tarik

No	Kode Parameter			Uji Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
	A	B	C	1	2	3	
1	55	50	0,5	310,87	332,46	300,60	314,64
2	55	60	1	453,53	386,31	472,95	437,60
3	55	70	1,5	431,19	461,03	427,02	439,75
4	65	50	1	406,56	433,70	342,57	394,28
5	65	60	1,5	432,48	364,90	332,64	376,67
6	65	70	0,5	418,60	392,79	382,65	398,01
7	75	50	1,5	314,77	448,03	392,34	385,05
8	75	60	0,5	465,83	426,10	447,27	446,40
9	75	70	1	398,42	456,57	459,12	438,04

Berdasarkan Tabel 4, nilai kekuatan tarik terendah dicapai oleh Spesimen pada percobaan pertama replikasi ke 3, sedangkan nilai tertinggi dicapai oleh Spesimen pada percobaan ke dua replikasi

ke tiga. Analisis mengenai karakteristik uji tarik kedua spesimen tersebut disajikan pada grafik Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Grafik uji tarik; (a) Kekuatan terendah (55A, 50°, 0.5 mm) ; (b) Kekuatan tertinggi (55, 60°, 1mm)

Karakteristik getas terlihat pada spesimen kekuatan terendah yang mengalami kegagalan prematur pada nilai *yield strength* dan UTS yang sama (300,6 MPa) dengan ekstensi hanya 1,9 mm tanpa fase plastis Gambar 3(a). Sebaliknya, spesimen kekuatan tertinggi menunjukkan daktilitas tinggi dengan UTS mencapai 472,95 MPa dan ekstensi 20,9 mm dengan daerah plastis yang luas Gambar 3(b). Fenomena ini mengindikasikan adanya cacat las atau penetrasi yang buruk pada spesimen kekuatan terendah, sedangkan parameter pada spesimen kekuatan tertinggi mampu menghasilkan sambungan baja SS400 yang optimal dan tangguh.

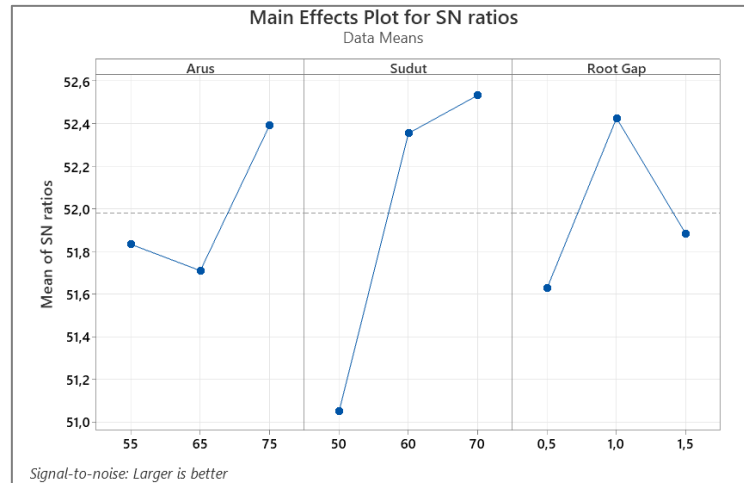
B. Analisis *Signal to Noise Ratio*

Nilai kekuatan tarik yang diperoleh dari setiap percobaan selanjutnya dianalisis menggunakan *Signal-to-Noise* (S/N) Ratio dengan karakteristik *Larger is Better* karena nilai kekuatan tarik yang diharapkan adalah sebesar mungkin. Berdasarkan nilai S/N Ratio, diperoleh level optimum untuk masing-masing faktor yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. S/N rasio *larger is better*

No	Arus (A)	Sudut (°)	Root Gap (mm)
1	51,83	51,05	51,63
2	51,71	52,36	52,43
3	52,39	52,53	51,88
Delta	0,68	1,48	0,80
Rank	3	1	2

Pengaruh setiap faktor terhadap kekuatan tarik dapat diamati melalui grafik *Main Effects Plot for S/N Ratio* pada Gambar 4. Level dengan nilai S/N Ratio tertinggi menunjukkan kondisi optimum untuk menghasilkan kekuatan tarik maksimum.

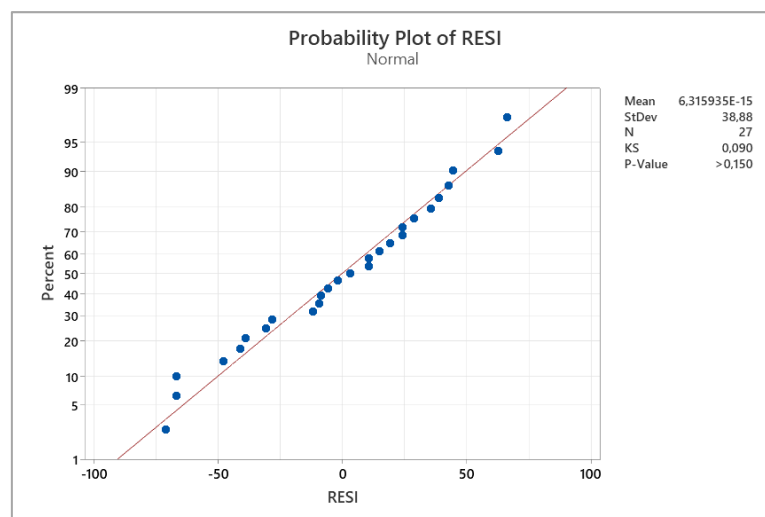


Gambar 4. Efek setiap faktor untuk S/N ratio kekuatan tarik baja ss400

Berdasarkan grafik *Main Effects Plot for S/N Ratio*, parameter optimum diperoleh pada arus pengelasan 75 A, sudut kampuh V 70°, dan *root gap* 1 mm. Selanjutnya, dilakukan analisis ANOVA untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik

C. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk memastikan data berdistribusi normal sehingga memenuhi asumsi yang diperlukan sebelum dilakukan analisis ANOVA [9]. Gambar 5 hasil pengujian normalitas yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab dengan tingkat signifikansi 5%.



Gambar 5. Grafik uji normalitas residual hasil pengujian tarik baja SS400

Berdasarkan Gambar 5, diperoleh nilai *P-value* sebesar 0,150. Nilai tersebut lebih besar dari taraf signifikansi 0,05 ($0,150 > 0,05$), sehingga data hasil pengujian tarik dapat dinyatakan berdistribusi normal dan memenuhi asumsi untuk dilakukan analisis ANOVA.

D. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan menggunakan metode Levene dengan tingkat signifikansi 5%. Hasil uji homogenitas ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Uji homogenitas hasil pengujian tarik baja SS400

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	-	0,634
Levene	0,58	0,778

Berdasarkan Tabel 6, diperoleh nilai *p-value* sebesar 0,778. Nilai tersebut lebih besar dari 0,05 ($0,778 > 0,05$), sehingga data memiliki varians yang homogen dan memenuhi asumsi untuk analisis ANOVA.

E. ANOVA

Analisis varians (ANOVA) dilakukan untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400. Hasil analisis ANOVA ditunjukkan pada Tabel 7.

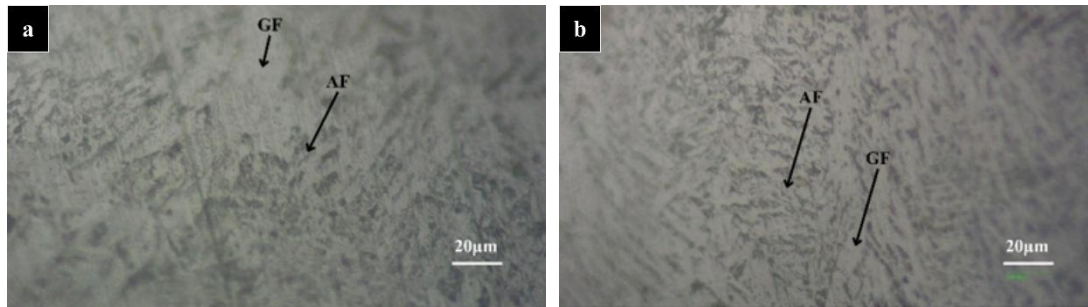
Tabel 7. Data ANOVA kekuatan tarik baja SS400

Source	DF	Adj SS	Adj Ms	F-value	P-value
Arus	2	5547	2773	1,41	0,267
Sudut	2	20361	10180	5,18	0,015
Root Gap	2	6257	3129	1,59	0,228
Error	20	39293	1965		
Total	26	71457			

Berdasarkan Tabel 7, faktor sudut kampuh memiliki nilai *P-value* sebesar 0,015 yang lebih kecil dari 0,05, sehingga berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Sementara itu, faktor arus pengelasan dan *root gap* memiliki nilai *P-value* masing-masing sebesar 0,267 dan 0,228 yang lebih besar dari 0,05, sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik. Selain itu, faktor sudut kampuh memiliki nilai *F-value* tertinggi sebesar 5,18, yang menunjukkan bahwa faktor tersebut merupakan parameter yang paling dominan dalam memengaruhi kekuatan tarik sambungan las baja SS400.

F. Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro dilakukan pada spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi dan terendah untuk mengamati karakteristik daerah las (*weld metal*). Struktur mikro yang teridentifikasi terdiri dari *Acicular Ferrite* (AF) dan *Grain Boundary Ferrite* (GF). AF merupakan fasa yang meningkatkan ketangguhan material [10], sedangkan GF cenderung menjadi jalur perambatan retak. Gambar 7 merupakan struktur mikro spesimen dengan kekuatan tertinggi dan terendah.

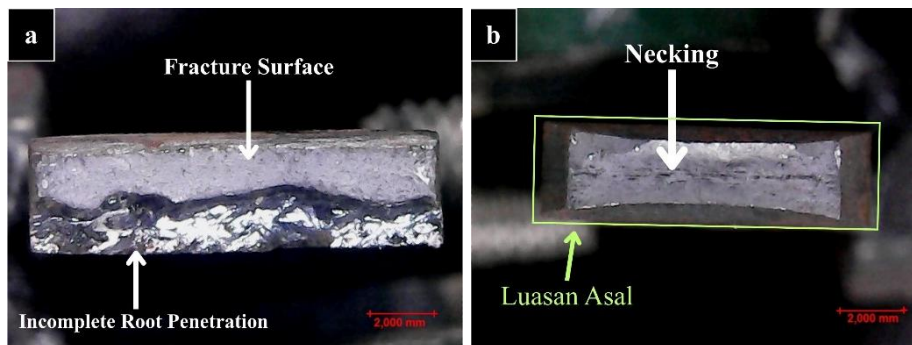


Gambar 7. Struktur mikro *weld metal*; (a) Kekuatan terendah (55A, 50°, 0.5 mm) ; (b) Kekuatan tertinggi (55, 60°, 1mm)

Berdasarkan Gambar 7, spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi menunjukkan dominasi fasa AF yang lebih tinggi, sedangkan spesimen dengan kekuatan tarik terendah didominasi oleh fasa GF. Perbedaan struktur mikro tersebut berkontribusi terhadap perbedaan kekuatan tarik pada sambungan las.

G. Analisis Fraktografi

Berdasarkan Gambar 8, spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi menunjukkan karakteristik patah ulet (*ductile fracture*) yang ditandai dengan adanya deformasi plastis sebelum patah. Sebaliknya, spesimen dengan kekuatan tarik terendah menunjukkan karakteristik patah getas (*brittle fracture*) dengan permukaan patahan yang relatif rata dan minimnya deformasi plastis. Selain itu, pada spesimen dengan kekuatan tarik terendah ditemukan indikasi cacat *incomplete root penetration* yang berkontribusi terhadap penurunan kekuatan tarik sambungan las.



Gambar 8. Patahan spesimen; (a) Kekuatan terendah (55A, 50°, 0.5 mm) ; (b) Kekuatan tertinggi (55, 60°, 1mm)

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa geometri kampuh dan arus pengelasan SMAW memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400. Berdasarkan analisis ANOVA, sudut kampuh merupakan faktor yang berpengaruh signifikan dan menjadi parameter dominan dalam menentukan kekuatan tarik sambungan las, sedangkan arus

pengelasan dan *root gap* tidak berpengaruh signifikan. Analisis Taguchi menunjukkan bahwa kombinasi parameter optimum untuk menghasilkan kekuatan tarik maksimum diperoleh pada sudut kampuh 70°, *root gap* 1 mm, dan arus pengelasan 75 A. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa dominasi fasa *acicular ferrite* berkorelasi dengan peningkatan kekuatan tarik, sedangkan dominasi *grain boundary ferrite* cenderung menurunkan sifat mekanik sambungan. Selain itu, hasil fraktografi menunjukkan bahwa spesimen dengan kekuatan tarik tertinggi mengalami patah ulet (*ductile fracture*), sedangkan spesimen dengan kekuatan tarik terendah mengalami patah getas (*brittle fracture*) yang berkaitan dengan cacat *incomplete root penetration*. Temuan ini menunjukkan bahwa optimasi geometri kampuh berperan penting dalam meningkatkan kualitas dan kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. G. Kriswandi, Jatira, and H. Nugroho, “Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Smaw Dengan Material Baja Karbon Rendah Dengan Profil Besi Siku Menggunakan Elektroda E6013,” *Teknologika*, vol. 12, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: <https://doi.org/10.51132/teknologika.v12i1.155>.
- [2] H. M. Munawar, I. N. Gusniar, and R. Hanafi, “Pengaruh Jenis Elektroda Las Smaw Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Micro,” vol. 11, no. 1, pp. 93–110, 2023, doi: <https://doi.org/10.23887/jptm.v11i1>.
- [3] S. Gunawan, Karyadi, and M. T. Ulhakim, “Analisis Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Material Baja S45c,” *Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 2, pp. 154–163, 2024, doi: <https://doi.org/10.23887/jptm.v12i2.83515>.
- [4] M. F. Anshori, Suharno, and Y. Estriyanto, “Pengaruh Variasi Besar Sudut Kampuh V Tunggal Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Kekuatan Tarik Material Baja Ss400 Dengan Metode Pengelasan SMAW,” *NOZEL*, vol. 02, no. November, pp. 301–311, 2020, doi: <https://doi.org/10.20961/nozel.v2i4.42468>.
- [5] N. Arif and E. Pranatal, “Analisa Pengaruh Root Gap Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Metode Pengelasan FCAW Posisi 3G Pada Material Baja SS 400,” *SEMITAN*, vol. I, no. 1, pp. 368–375, 2022, doi: <https://doi.org/10.31284/j.semitan.2022.3059>.
- [6] E. Aprianto and Haftirman, “Effect of Post-Weld Heat Treatment Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of FCAW-Welded SS400 Steel,” vol. 6, no. 2, pp. 111–125, 2026, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05103>
- [7] G. D. Ahadi, S. W. Pratiwi, and D. P. Isnarwaty, “Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses bundling kemasan),” *SainsTech Innov. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 380–388, 2023, doi: 10.37824/sij.v6i2.2023.617.
- [8] M. Tanash, R. Al Athamneh, D. B. Hani, M. Rababah, and Z. Albataineh, “A PDCA Framework towards a Multi-Response Optimization of Process Parameters Based on Taguchi-Fuzzy Model,” 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05103>.
- [9] P. Mishra, C. M. Pandey, U. Singh, A. Gupta, C. Sahu, and A. Keshri, “Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data,” pp. 67–72, 2019, doi: 10.4103/aca.ACA.
- [10] I. Hamdi, “Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi Dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja Ss400 Menggunakan Metode GMAW,” *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: <https://doi.org/10.33558/JITM.V8I1.1998>.