



**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI KAMPUH DAN ARUS LAS SMAW
TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN BAJA SS400
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

SKRIPSI

Oleh

**Iwan Ahmad
221910101026**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2026**



**ANALISIS PENGARUH GEOMETRI KAMPUH DAN ARUS LAS SMAW
TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN BAJA SS400
MENGUNAKAN METODE TAGUCHI**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi S1 Teknik Mesin*

SKRIPSI

Oleh

**Iwan Ahmad
221910101026**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2026**

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta, Kakak dan Keluarga yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan dalam setiap langkah hidup saya. Terima kasih atas segala kepercayaan dan semangat yang selalu menguatkan saya hingga sampai di titik ini.
2. Dosen pembimbing Bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D, IPM., yang telah dengan sabar membimbing, memberikan ilmu, serta arahan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Dosen penguji utama Bapak Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T., dan Dosen penguji anggota Bapak Dr. Ir. Agus Triono, S. T., M. T., yang selalu mengarahkan, memberikan saran dan kritik sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

MOTTO

“Jadilah seperti pohon yang tumbuh dan berbuah lebat. Dilempar dengan batu,
tetapi membalasnya dengan buah”

(Abu Bakar Ash-Shiddiq)



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iwan Ahmad

NIM : 221910101026

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Geometri Kampuh dan Arus Las SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Baja SS400 Menggunakan Metode Taguchi” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan skripsi ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Maret 2026

Yang menyatakan

Iwan Ahmad

NIM 221910101026

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “*Analisis Pengaruh Geometri Kampuh dan Arus Las SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Baja SS400 Menggunakan Metode Taguchi*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 11 Mei 2026

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Tanda Tangan

1. Pembimbing Utama

Nama : Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D, IPM.

NIP : 197003221995011001

(.....)

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T.

NIP : 197506152002121008

(.....)

2. Penguji Anggota

Nama : Dr. Ir. Agus Triono, S. T., M. T.

NIP : 197008072002121001

(.....)

ABSTRACT

Welding is a process of joining metallic materials by melting a portion of the base metal and/or filler metal using a heat source to form a strong metallurgical bond. One of the commonly applied methods is Shielded Metal Arc Welding (SMAW). This study aims to analyze the effect of welding parameters, including welding current, groove angle, and root gap, on the tensile strength of SMAW welded joints in 4 mm thick SS400 low carbon steel. The experimental design was conducted using the Taguchi method and evaluated through Analysis of Variance (ANOVA). The parameter variations consisted of welding current (55, 65, and 75 A), groove angle (50°, 60°, and 70°), and root gap (0.5, 1.0, and 1.5 mm). Tensile testing was performed based on the ASTM E8/E8M standard, supported by metallographic and fractographic examinations.

The results showed that the highest tensile strength of 472.95 MPa was obtained at the combination of 55 A welding current, 60° groove angle, and 1 mm root gap. Based on ANOVA analysis, the groove angle was identified as the most significant factor affecting tensile strength. Technically, a 1 mm root gap was found to be the optimum gap, while the variation in welding current exhibited a non-linear trend due to changes in heat input. Fractographic analysis revealed that specimens with optimal strength fractured in the base metal, indicating a high-quality weld joint, whereas lower-strength specimens fractured in the weld area due to defects such as incomplete root penetration.

Keywords : Shielded Metal Arc Welding (SMAW), Tensile Strength, Metallography, Fractography, ASTM E8

ABSTRAK

Pengelasan merupakan proses penyambungan material logam dengan mencairkan sebagian logam induk maupun logam pengisi menggunakan sumber panas untuk membentuk ikatan metalurgi yang kuat. Salah satu metode yang umum diaplikasikan adalah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja karbon rendah SS400 setebal 4 mm. Eksperimen dirancang menggunakan pendekatan Taguchi dan dievaluasi melalui analisis statistik ANOVA. Variasi parameter meliputi arus (55, 65, 75 A), sudut kampuh (50°, 60°, 70°), serta *root gap* (0,5; 1,0; 1,5 mm). Pengujian spesimen mengacu pada standar ASTM E8/E8M untuk uji tarik, didukung oleh evaluasi metalografi dan fraktografi.

Hasil penelitian menunjukkan kekuatan tarik tertinggi mencapai 472,95 MPa pada kombinasi arus 55 A, sudut 60°, dan *root gap* 1 mm. Berdasarkan analisis ANOVA, sudut kampuh menjadi faktor penentu yang paling signifikan terhadap kekuatan tarik. Secara teknis, *root gap* 1 mm terbukti sebagai celah optimum, sedangkan variasi arus menunjukkan tren kekuatan non-linear akibat perubahan *heat input*. Hasil fraktografi menunjukkan spesimen dengan kekuatan optimal mengalami patahan pada logam induk (*base metal*), sementara spesimen berkekuatan rendah terputus di area las akibat cacat *incomplete root penetration*.

Kata kunci : *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), Kekuatan tarik, Metalografi, Fraktografi, ASTM E8

RINGKASAN

Analisis Pengaruh Geometri Kampuh dan Arus Las Smau Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Baja SS400 Menggunakan Metode Taguchi; Iwan Ahmad, 221910101026; 47 halaman; Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pengelasan logam adalah proses menyambung dua atau lebih jenis logam melalui pemanasan logam hingga titik lelehnya sebelum menyatukannya dengan atau tanpa penggunaan bahan pengisi logam tambahan. Salah satu pengelasan las busur yang umum digunakan adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), yaitu suatu proses pengelasan yang menggunakan sumber panas listrik dan bahan pengisi atau *filler* berupa elektroda yang dibungkus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik sambungan las pada baja karbon rendah SS400 dengan ketebalan 4 mm, dengan menggunakan standar ASTM E8. Parameter yang diteliti meliputi variasi arus (55A, 65A, 75A), sudut pengelasan (50°, 60°, 70°), dan *root gap* (0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm). Metode yang digunakan adalah pendekatan eksperimen dengan desain Taguchi serta analisis statistik menggunakan ANOVA.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 472,95 MPa diperoleh pada kombinasi parameter arus 55 A, sudut 60°, dan *root gap* 1 mm. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter sudut pengelasan memiliki pengaruh paling signifikan terhadap kekuatan tarik, sedangkan arus dan *root gap* memiliki pengaruh yang lebih kecil.

Hasil pengujian metalografi dan fraktografi menunjukkan bahwa spesimen dengan kekuatan tarik rendah mengalami cacat las berupa *incomplete root penetration*, yang menyebabkan patahan terjadi di daerah las. Sebaliknya, spesimen dengan kekuatan tarik tinggi mengalami patahan di *base metal*, yang mengindikasikan bahwa kualitas sambungan las lebih baik dibandingkan logam induk.

Berdasarkan analisis metode Taguchi dengan pendekatan *larger is better*, diperoleh kombinasi parameter optimal pada arus 75 A, sudut 60°, dan *root gap* 1

mm. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa parameter pengelasan, khususnya arus, sudut dan *root gap*, memiliki peran penting dalam menentukan kualitas sambungan las dan kekuatan tarik material.



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Geometri Kampuh dan Arus Las SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Baja SS400 Menggunakan Metode Taguchi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

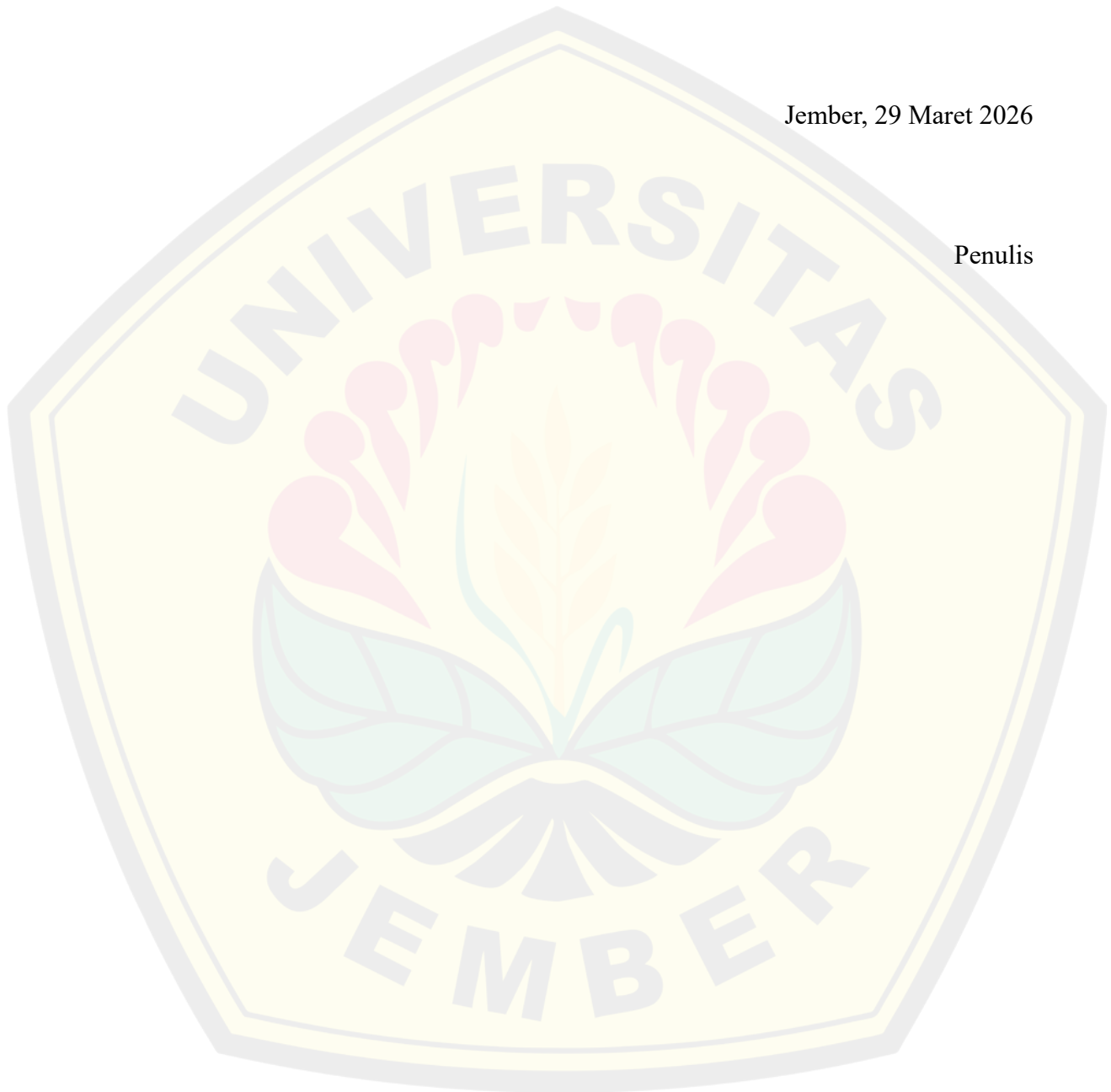
1. Kedua orang tua saya Bapak Ahmad Ridwan, Ibu Romlah dan Kakak saya Aisyah serta keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Ir. Danang Yudistiro, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Dosen pembimbing Bapak Prof. Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D, IPM., yang telah dengan sabar membimbing, memberikan ilmu, serta arahan selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Dosen penguji utama Bapak Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T., dan Dosen penguji anggota Bapak Dr. Ir. Agus Triono, S. T., M. T., yang selalu mengarahkan, memberikan saran dan kritik sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi

ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Jember, 29 Maret 2026

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
<i>ABSTRACT</i>.....	vii
ABSTRAK	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	3
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	3
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Pengelasan	6
2.2.1 <i>Shield Metal Arc Welding</i> (SMAW)	6
2.2.2 Elektroda.....	7
2.3 <i>Butt Join</i> Pengelasan.....	8
2.4 Desain Eksperimental Taghuci	8
2.4.1 Variabel Respon.....	8

2.4.2 Variabel Faktor	9
2.4.3 Derajat Kebebasan	9
2.4.4 Matriks Ortogonal	9
2.4.5 <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA).....	10
2.4.6 Uji Hipotesis F	10
2.4.7 S/N Rasio.....	10
2.5 Pengujian Tarik.....	12
2.5.1 Tegangan dan Regangan	12
2.5.2 Spesimen Uji Tarik	13
2.6 Pengujian Metalografi	14
2.7 Pengujian Fraktografi	15
2.8 Baja SS 400	15
2.9 Hipotesis	16
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2.1 Alat	17
3.2.2 Bahan.....	17
3.3 Variabel Penelitian.....	17
3.3.1 Variabel Bebas	17
3.3.2 Variabel Terikat.....	18
3.3.3 Variabel Kontrol	18
3.4 Prosedur Penelitian.....	19
3.4.1 Studi Literatur.....	19
3.4.2 Pembuatan Spesimen.....	19
3.4.3 Pengujian Spesimen.....	20
3.5 Diagram Alir	21

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Proses Manufaktur Pembuatan Spesimen Uji Tarik ASTM E8.....	23
4.2 Data Hasil Uji Tarik.....	24
4.2.1 Perhitungan S/N Ratio	32
4.2.2 Penentuan Parameter Optimal	34
4.2.3 Uji Homogenitas.....	35
4.2.4 Uji Normalitas	35
4.2.5 ANOVA	36
4.2.6 Uji Hipotesis F.....	37
4.3 Pembahasan Pengaruh Parameter terhadap Kekuatan Tarik	38
4.3.1 Arus.....	38
4.3.2 Sudut.....	39
4.3.3 Root Gap.....	40
BAB 5. PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks Orthogonal $L_9 (3^3)$	8
Tabel 2.2 ANOVA satu arah tanpa interaksi.....	9
Tabel 2.3 Dimensi ASTM E8	13
Tabel 2.4 Sifat mekanik baja ss 400	14
Tabel 3.1 Faktor dan level penelitian	17
Tabel 3.2 Matriks ortogonal $L_9 (3^3)$	17
Tabel 4.1 Data hasil pengujian tarik	25
Tabel 4.2 Nilai <i>yield strength</i> dan <i>UTS</i> spesimen 1C dan 2C	27
Tabel 4.3 Nilai S/N Ratio kekuatan tarik spesimen baja SS400	32
Tabel 4.4 Respon S/N rasio <i>larger is better</i>	32
Tabel 4.5 Tabel kombinasi parameter optimal	33
Tabel 4.6 Uji homogenitas hasil pengujian tarik baja SS400.....	34
Tabel 4.7 Data ANOVA kekuatan tarik baja SS400	36
Tabel 4.8 Hasil perhitungan uji F kekuatan tarik baja SS400	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema las SMAW	5
Gambar 2.2 Skema daerah HAZ	6
Gambar 2.3 Arti Kode Elektroda	6
Gambar 2.4 Sambungan <i>butt join</i>	7
Gambar 2.5 Kurva tegangan regangan.....	12
Gambar 2.6 Spesimen uji tarik persegi panjang dalam ASTM E8:2016	12
Gambar 2.7 Mikroskop optik	16
Gambar 2.8 Ilustrasi gambar struktur makro	13
Gambar 2.9 Ilustrasi gambar struktur mikro	13
Gambar 2.10 Fraktografi pada spesimen uji tarik.....	14
Gambar 3.1 Geometri kampuh V	18
Gambar 3.2 Area pengelasan pelat.....	19
Gambar 3.3 Skema pemotongan spesimen uji tarik ASTM E8	19
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 4.1 Proses manufaktur pembuatan spesimen ASTM E8	22
Gambar 4.2 Spesimen uji tarik ASTM E8 baja SS400	23
Gambar 4.3 Spesimen hasil uji tarik	24
Gambar 4.4 Grafik uji tarik spesimen 9	24
Gambar 4.5 Grafik uji tarik spesimen 1C	26
Gambar 4.6 Grafik uji tarik spesimen 2C	26
Gambar 4.7 Permukaaan patahan spesimen 2C	28
Gambar 4.8 Permukaaan patahan spesimen 1C	29
Gambar 4.9 Struktur mikro <i>weld metal</i> ; (a) Spesimen 1C; (b) Spesimen 2C; (c) Penelitian terdahulu	30
Gambar 4.10 Efek setiap faktor untuk S/N Ratio kekuatan tarik baja ss400	33
Gambar 4.11 Grafik uji normalitas residual hasil pengujian tarik baja SS400	35
Gambar 4.12 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter arus	38
Gambar 4.13 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter sudut	39

Gambar 4.14 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter *root gap*39



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan metode penyambungan material logam yang dilakukan dengan cara memberikan panas hingga logam mencapai kondisi leleh, kemudian kedua bagian disatukan menggunakan atau tanpa menggunakan logam pengisi sehingga menghasilkan ikatan yang kuat (Gunawan et al., 2024). Berdasarkan metode pelaksanaannya, proses pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian. Pengelasan cair merupakan teknik penyambungan yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan digabungkan hingga meleleh menggunakan sumber energi panas tertentu (Kriswandi et al., 2022).

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan salah satu metode pengelasan busur listrik yang sering digunakan dalam proses penyambungan logam. Teknik ini memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas dan menggunakan elektroda terbungkus sebagai material pengisi. Busur listrik yang terbentuk di antara elektroda dan logam induk menghasilkan panas yang cukup untuk melelehkan kedua material tersebut. Faktor yang memiliki peran penting terhadap kualitas sambungan las adalah arus pengelasan, karena besarnya arus akan memengaruhi jumlah energi panas yang dihasilkan selama proses pengelasan berlangsung. Menurut (Munawar et al., 2023) jika menggunakan arus rendah dapat mengakibatkan busur tidak stabil dan penetrasi dangkal, sedangkan arus yang terlalu tinggi membuat las melebar berlebihan sehingga menurunkan kekuatan tarik dan meningkatkan kerapuhan sambungan. Selain arus las, variasi geometri kampuh meliputi sudut kampuh dan *root gap* menentukan aliran logam cair, kedalaman penetrasi, serta potensi terbentuknya cacat las seperti porositas. Kombinasi parameter yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan kualitas sambungan, khususnya pada kekuatan sambungan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji variabel-variabel ini, namun umumnya dilakukan secara terpisah. Kriswandi et al. (2022) meneliti pengaruh arus tunggal pada baja SS400 dengan elektroda E6013 diameter 2 mm. Hasil yang

diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar arus yang digunakan, maka nilai kekuatan tarik cenderung mengalami peningkatan, di mana arus 115 A menghasilkan kekuatan tertinggi. Namun, penelitian ini terbatas karena menggunakan arus yang relatif tinggi untuk elektroda kecil dan mengabaikan faktor geometri.

Namun, parameter arus bukan satu-satunya faktor yang menentukan kualitas sambungan. Anshori et al. (2020) meneliti variasi sudut kampuh V (50° , 60° dan 70°) pada baja SS400 dan menemukan bahwa perubahan sudut secara signifikan mengubah struktur mikro (ferit dan perlit), yang berdampak langsung pada kekuatan tarik material. Sementara itu, Arif & Pranatal (2022) meneliti pentingnya *root gap*, penelitian mereka menyimpulkan bahwa pada pelat tebal 10mm dan 12mm, variasi celah akar (2 mm dan 3 mm) sangat mempengaruhi nilai kekuatan tarik, di mana celah yang tidak optimal menyebabkan penurunan kekuatan sambungan secara drastis.

Berdasarkan uraian dan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa arus pengelasan, sudut dan *root gap* dapat mempengaruhi kualitas sambungan las. Namun, pada penelitian sebelumnya hanya membahas variabel tersebut secara terpisah, tanpa menganalisis pengaruh ketiga variabel tersebut secara bersamaan. Maka dari itu, penelitian yang akan saya lakukan bertujuan untuk menggabungkan ketiga variabel tersebut guna menganalisis pengaruh geometri kampuh (sudut dan *root gap*) serta arus las SMAW terhadap kekuatan tarik baja SS400. Metode pada perancangan percobaan ini adalah dengan menggunakan Metode Taguchi. Selain itu, untuk menentukan kontribusi pada masing-masing faktor terhadap kekuatan tarik menggunakan ANOVA. Dengan ini, diharapkan dapat ditemukan kombinasi parameter yang paling optimal untuk mencegah kegagalan sambungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diketahui didapatkan beberapa rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perubahan parameter arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las pada baja SS400?

2. Faktor manakah yang memiliki tingkat pengaruh terbesar terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400 berdasarkan pengolahan data menggunakan Metode Taguchi dan ANOVA?
3. Bagaimana karakteristik struktur mikro dan bentuk patahan (fraktografi) pada spesimen hasil pengelasan?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian tidak membahas pengaruh posisi pengelasan, penetrasi dan kecepatan pengelasan.
2. Penelitian ini tidak membahas pengujian mekanik selain uji tarik serta tidak menerapkan proses perlakuan panas pada spesimen las.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Mengkaji pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dan bentuk geometri kampuh terhadap nilai kekuatan tarik pada sambungan baja SS400.
- b. Mengidentifikasi parameter pengelasan yang memiliki pengaruh paling besar terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400 berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Taguchi dan ANOVA.
- c. Mengidentifikasi karakteristik struktur mikro dan fraktografi sambungan las baja SS400 sebagai pendukung dalam menjelaskan mekanisme kegagalan akibat variasi arus las dan geometri kampuh.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Memberikan kontribusi ilmiah terkait hubungan antara variasi arus las dan geometri kampuh terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400.
- b. Menambah referensi akademik dalam penerapan metode Taguchi pada analisis parameter pengelasan SMAW.

- c. Menjadi bahan pembanding bagi penelitian selanjutnya yang membahas pengelasan baja karbon menggunakan pendekatan optimasi parameter.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik sambungan las, dengan arus pengelasan sebagai variabel utama karena berperan langsung terhadap masukan panas. Gunawan et al. (2024) meneliti bahwa penggunaan elektroda E6013 dengan metode SMAW pada pelat baja, diperoleh bahwa variasi arus memberikan perbedaan nilai kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik maksimum diperoleh pada penggunaan arus 90 A dengan nilai sebesar 265,7 MPa, sedangkan penggunaan arus di bawah maupun di atas nilai tersebut menghasilkan kekuatan tarik yang cenderung lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat arus optimum pada penggunaan elektroda E6013 yang mampu menghasilkan kekuatan tarik maksimum. Dengan demikian, penentuan arus pengelasan yang tepat memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas hasil sambungan las.

Selain arus las, geometri kampuh, khususnya sudut kampuh, juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas sambungan. Anshori et al. (2020) melaporkan bahwa variasi sudut kampuh V pada baja SS400 mempengaruhi pembentukan struktur mikro dan sifat mekanik, di mana sudut 60° memberikan keseimbangan sifat yang paling optimal. Temuan ini diperkuat oleh Huda dan Setiawan (2016) yang menyimpulkan bahwa interaksi antara besar sudut kampuh dan kuat arus sangat menentukan keberhasilan penyambungan, di mana sudut yang terlalu sempit dapat menghambat akses elektroda ke dasar lasan.

Variabel geometri lain yang sangat berpengaruh adalah jarak bagi atau *root gap*, yang berfungsi sebagai akses penetrasi hingga ke akar lasan. Pengaruh variabel ini dibahas oleh Arif dan Pranatal (2022) dalam penelitiannya pada baja SS400. Meskipun menggunakan metode pengelasan yang berbeda, prinsip dasar pengaruh *root gap* terhadap penetrasi tetap relevan untuk diaplikasikan. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa lebar *root gap* harus disesuaikan dengan ketebalan pelat untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimal. Pada pelat setebal 10 mm, *root*

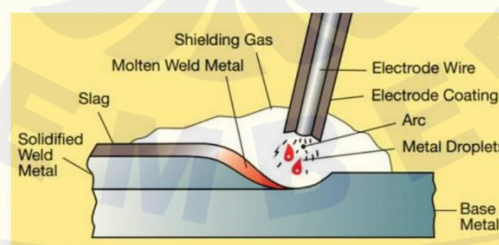
gap 2 mm memberikan hasil paling optimal, sedangkan celah yang terlalu lebar atau terlalu sempit terbukti menurunkan kekuatan tarik akibat cacat.

2.2 Pengelasan

Pengelasan (*welding*) merupakan proses penyambungan logam yang dilakukan dengan melelehkan sebagian logam induk dan logam pengisi, baik dengan maupun tanpa pemberian tekanan, sehingga terbentuk sambungan antar material (Pratama et al., 2020). Berikut merupakan jenis pengelasan yang biasa digunakan pada dunia industri.

2.2.1 *Shield Metal Arc Welding* (SMAW)

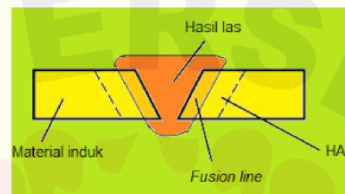
SMAW atau las busur listrik elektroda terbungkus merupakan salah satu metode pengelasan yang memanfaatkan busur listrik sebagai sumber panas untuk melelehkan logam selama proses penyambungan (Azwinur & Muhazir, 2019). Energi panas yang dihasilkan dari busur listrik mengakibatkan logam dasar dan ujung elektroda mencair, kemudian mengalami proses pembekuan secara bersamaan sehingga menghasilkan sambungan las. Mekanisme perpindahan logam elektroda berlangsung ketika ujung elektroda meleleh dan membentuk butiran logam cair yang ditransfer melalui busur listrik (Azwinur & Muhazir, 2019). Selain itu, pengelasan dapat diartikan sebagai metode penyambungan logam yang dilakukan dengan pemanasan lokal pada bagian tertentu sehingga menghasilkan ikatan metalurgis antara logam yang digabungkan (Perwira & Prasetya, 2023). Skema las busur listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Skema las SMAW

(Sumber : Perwira & Prasetya, 2023)

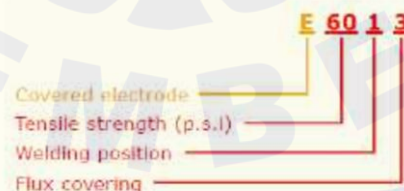
Pembentukan ikatan metalurgis memerlukan proses pelelehan lokal pada logam induk (base metal) dan logam pengisi (filler metal) dengan memanfaatkan energi panas. Pemberian panas selama proses pengelasan tidak hanya berfungsi untuk melelehkan material pada bagian sambungan, tetapi juga memengaruhi sifat material di daerah sekitarnya. Pengaruh panas tersebut dapat menyebabkan perubahan sifat pada logam di area tertentu yang disebut daerah terpengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ) (Perwira & Prasetya, 2023). Skema daerah HAZ terdapat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema daerah HAZ
(Sumber: Perwira & Prasetya, 2023)

2.2.2 Elektroda

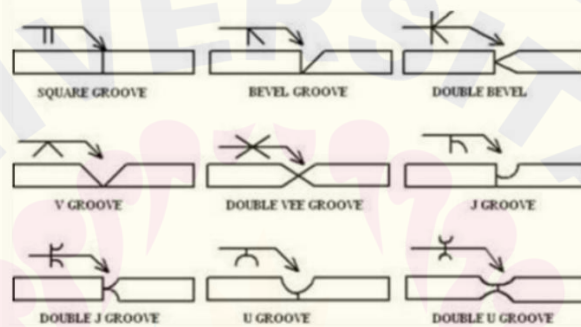
Elektroda didefinisikan sebagai komponen penghantar arus listrik pada ujung rangkaian yang bersentuhan dengan benda kerja dan berperan dalam menghasilkan energi panas selama proses pengelasan (Purwanto et al., 2023). Elektroda E6013 dikenal memiliki karakteristik busur nyala yang stabil, proses pengelasan yang halus, serta menghasilkan percikan (*splatter*) yang relatif rendah (Kriswandi et al., 2022). *American Welding Standard* membuat kode khusus yang terdiri dari 4 digit. Gambar 2.3 merupakan contoh jenis kode elektroda.



Gambar 2.3 Arti kode elektroda
(Sumber: Suherman & Abdullah, 2020)

2.3 *Butt Join* Pengelasan

Sambungan jenis ini merupakan jenis sambungan pengelasan yang paling umum digunakan pada konstruksi dan perancangan mesin. Sambungan ini terjadi ketika dua buah material disambungkan pada sisi ujungnya dengan posisi sejajar atau berada pada satu bidang yang sama, kemudian di satukan melalui proses pengelasan. *Butt joint* banyak diaplikasikan pada struktur rangka, pelat, dan komponen mesin karena mampu menghasilkan sambungan yang relatif kuat, rapi, serta efisien dalam penggunaan material pengisi. Gambar 2.4 berikut merupakan bentuk atau jenis-jenis kampuh.



Gambar 2.4 Sambungan *butt join*
(Sumber: Ariyanto & Novianti, 2025)

2.4 Desain Eksperimental Taghuci

Desain eksperimen Taguchi merupakan salah satu metode statistik dalam *Design of Experiment* (DOE) yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk maupun proses melalui penentuan kombinasi faktor dan level yang paling optimal dengan jumlah percobaan yang lebih efisien. Metode taguchi menekankan konsep *robust design*, yaitu desain yang tidak sensitif terhadap faktor gangguan, serta menggunakan matriks orthogonal dan analisis *Signal to Noise Ratio* untuk meminimalkan variasi hasil eksperimen (Ahadi et al., 2023).

2.4.1 Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh faktor atau variabel bebas yang diterapkan dalam suatu penelitian maupun eksperimen.

2.4.2 Variabel Faktor

Variabel faktor dalam metode Taguchi merupakan parameter masukan yang dikendalikan dan divariasikan pada tingkat tertentu untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel respon.

2.4.3 Derajat Kebebasan

Penetapan derajat kebebasan bertujuan untuk menentukan jumlah minimal percobaan yang harus dilakukan agar seluruh faktor dan level dalam eksperimen dapat dianalisis secara statistik.

$$DF = k - 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

DF = Derajat kebebasan

k = Jumlah level

2.4.4 Matriks Ortogonal

Pemilihan matriks orthogonal ditentukan oleh jumlah faktor dan jumlah level setiap faktor, serta jumlah baris percobaan yang dianalisis, yang secara langsung berkaitan dengan pemenuhan derajat kebebasan. Pada penelitian ini digunakan desain 3^3 , yang terdiri atas tiga faktor dengan masing-masing memiliki tiga tingkat level, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Matriks Orthogonal $L9\ 3^3$

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

2.4.5 Analysis Of Variance (ANOVA)

Desain eksperimen Taguchi menggunakan kombinasi percobaan yang disusun dalam bentuk *Orthogonal Array* (OA) yang dirancang secara khusus. (Ahadi et al., 2023). Metode Analisis Variansi digunakan untuk menentukan tingkat pengaruh dan signifikansi faktor penelitian terhadap variabel respon dengan melakukan analisis terhadap variasi data secara statistik. Tabel 2.2 merupakan tabel ANOVA satu arah tanpa interaksi.

Tabel 2.2 ANOVA satu arah tanpa interaksi

Sumber Variasi	Degree Of Freedom (DOF)	Sum of Square (SS)	Means of Square (MS)	F hitung
Faktor A	$V_A = kA - 1$	$SS_A = nA \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{y})^2$	$MS_A = \frac{SS_A}{df_A}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor B	$V_B = kB - 1$	$SS_B = nB \sum_{i=1}^n (B_i - \bar{y})^2$	$MS_B = \frac{SS_B}{df_B}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Faktor C	$V_C = kC - 1$	$SS_C = nC \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{y})^2$	$MS_C = \frac{SS_C}{df_C}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
Error	$V_E = df_T - df_A - df_B - df_C$	$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C$	$MS_E = \frac{SS_E}{df_E}$	
Total	$V_T = N - 1$	$SS_T = \sum (y - \bar{y})^2$		

2.4.6 Uji Hipotesis F

Uji hipotesis F digunakan dalam analisis variansi (ANOVA) untuk menentukan signifikansi pengaruh faktor terhadap variabel respon. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai F-hitung dengan nilai F-tabel pada tingkat signifikansi tertentu. Apabila nilai F-hitung lebih besar dari F-tabel, maka hipotesis nol ditolak yang menunjukkan bahwa faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap respon.

2.4.7 S/N Rasio

Signal-to-noise Ratio (S/N) dalam metode Taguchi digunakan untuk menilai kualitas proses dengan mempertimbangkan nilai respon dan tingkat

variasinya. Ada tiga jenis S/N rasio yang digunakan untuk optimasi yaitu sebagai berikut:

a. *Smaller is Better*

Digunakan apabila karakteristik kualitas diharapkan memiliki nilai sekecil mungkin, sehingga optimasi dilakukan dengan meminimalkan nilai respon dan variasinya. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \frac{1}{n} \right) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

y = Data percobaan

n = Jumlah pengulangan

b. *Nominal is Best*

Digunakan apabila karakteristik kualitas memiliki nilai target tertentu, dengan tujuan menjaga kestabilan respon agar mendekati nilai nominal dan mengurangi penyimpangan. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\left[\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \right] \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

y = Data percobaan

n = Jumlah pengulangan

c. *Large is Better*

Digunakan apabila karakteristik kualitas diharapkan memiliki nilai sebesar mungkin. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

y = Data percobaan

n = Jumlah pengulangan

2.5 Pengujian Tarik

Uji tarik adalah pemberian gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material (Kriswandi et al., 2022).

2.5.1 Tegangan dan Regangan

Tegangan tarik yang digunakan adalah tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Persamaan yang digunakan untuk mencari tegangan yang terjadi pada uji tarik adalah :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Tegangan maksimum merupakan batas kemampuan maksimum material mengalami gaya tarik dari luar hingga mengalami *fracture*. Regangan yang digunakan pada kurva diperoleh dengan cara membagi perpanjangan panjang ukur dengan panjang awal. Persamaannya yaitu :

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

ε = Regangan (%)

L₀ = Panjang Awal (mm)

L = Panjang Akhir (mm)

Bentuk kurva tegangan-regangan pada daerah elastis tegangan berbanding lurus terhadap regangan. Deformasi tidak berubah pada pembebanan, daerah regangan yang tidak menimbulkan deformasi apabila beban dihilangkan disebut

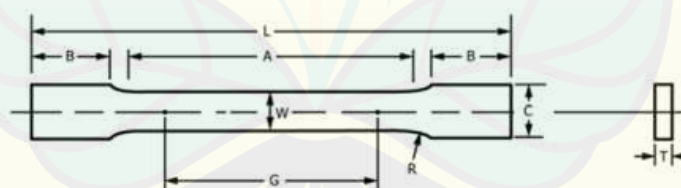
daerah elastis. Apabila beban melampaui nilai yang berkaitan dengan kekuatan luluh, benda mengalami deformasi plastis bruto. Deformasi pada daerah ini bersifat permanen, meskipun bebannya dihilangkan. Kurva tegangan regangan ditampilkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Kurva tegangan regangan
(Sumber: Kriswandi et al., 2022)

2.5.2 Spesimen Uji Tarik

Spesimen uji tarik adalah contoh material yang dibentuk dan diberi ukuran tertentu sesuai standar untuk diuji dengan pembebanan tarik guna mengetahui sifat mekanik, seperti kekuatan tarik dan regangan. Spesimen uji tarik mengacu pada standar ASTM E8:2016 yang dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Spesimen uji tarik ASTM E8:2016
(Sumber: Dizdar et al., 2016)

Ketentuan ukuran spesimen uji tarik berbentuk pelat menurut ASTM E8:2016 ditetapkan agar pengujian menghasilkan data sifat mekanik yang akurat dan dapat dibandingkan. Tabel 2.2 berikut merupakan standar ukuran ASTM E8 yang akan digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

Tabel 2.3 Dimensi ASTM E8

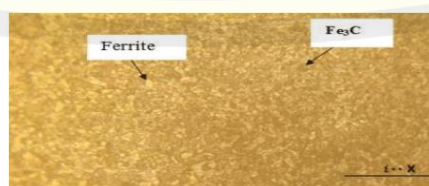
<i>Dimension of Test Spesimen</i>	<i>mm</i>
G – Gauge length	$50 \pm 0,1$
W – Width	$12,5 \pm 0,2$
T – Thickness, minimum	4
R – Radius of fillet, minimum	12,5
L – Overall length, minimum	200
A – Length of reduced parallel section, minimum	57
B – Length of grip section, minimum	50
C – Width of grip section, approximate	20

2.6 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi adalah suatu teknik ilmu yang mempelajari metode pengamatan dengan tujuan untuk menentukan atau mempelajari hubungan struktur dengan sifat dan perlakuan yang pernah dialami oleh logam, paduan dan bahan bahan lainnya (I. Kurniawan et al., 2019). Pengujian mikro pada pengelasan menggunakan mikroskop optik bertujuan untuk mengamati struktur mikro logam las dan logam induk. Berikut merupakan ilustrasi pengujian makro dan mikro pada hasil pengelasan, dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7 Ilustrasi gambar struktur makro
(Sumber: Fazadima et al., 2022)

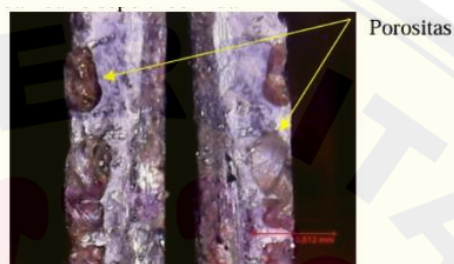


Gambar 2.8 Ilustrasi gambar struktur mikro

(Sumber: Fazadima et al., 2022)

2.7 Pengujian Fraktografi

Uji fraktografi menggunakan mikroskop digital dilakukan untuk mengamati permukaan patahan material secara visual dengan pembesaran tertentu guna mengidentifikasi mekanisme patah yang terjadi (Darsin et al., 2025). Gambar fraktografi dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut yang merupakan hasil dari penelitian (Budianto et al., 2025).



Gambar 2.9 Fraktografi pada spesimen uji tarik

(Sumber: Budianto et al., 2025)

2.8 Baja SS 400

Pelat *mild steel* SS400, yang juga dikenal sebagai SS400 JIS 3101, di ASME Kode Bagian II A spesifikasi JIS dari pelat baja untuk konstruksi umum. Tipikal material baja karbon khas, harganya relatif murah, sangat bagus di las dan di *machining* serta material baja SS400 dapat mengalami berbagai perlakuan panas (Azwinur & Muhazir, 2019). Tabel 2.4 merupakan keterangan sifat mekanik baja SS400 yang terdapat pada penelitian (Azwinur & Muhazir, 2019).

Tabel 2.4 Sifat mekanik baja ss 400

(Sumber: Azwinur & Muhazir, 2019)

Grade	Yield Strength min. (MPa)		Tensile Strength MPa	Elongation min. %		
	Thickness <16mm	Thickness ≥16mm		Thickness <5mm	Thickness 5-16mm	Thickness ≥16mm
SS400	245	235	400-510	21	17	21

2.9 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini menyatakan bahwa variasi arus pengelasan, sudut kampuh V, dan *root gap* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW pada baja SS400. Peningkatan nilai arus pengelasan, sudut kampuh, dan *root gap* hingga kondisi tertentu diperkirakan mampu menghasilkan penetrasi las yang lebih baik sehingga meningkatkan kekuatan tarik sambungan.

Selain itu, terdapat satu parameter yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekuatan tarik sambungan las dibandingkan parameter lainnya, yang dapat diidentifikasi melalui analisis Metode Taguchi dan ANOVA.

Perbedaan parameter pengelasan diperkirakan menghasilkan perbedaan karakteristik struktur mikro pada daerah las dan HAZ (*Heat Affected Zone*), yang selanjutnya memengaruhi kekuatan tarik sambungan. Perbedaan karakteristik struktur mikro dan kekuatan tarik tersebut juga diperkirakan akan tercermin pada karakteristik permukaan patahan hasil pengujian tarik yang diamati melalui analisis fraktografi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Proses Manufaktur dan Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Pada bulan Januari – Mei 2026.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mesin Las SMAW
- b. Mesin Uji Tarik
- c. Mesin Gerinda
- d. Mikroskop Optik
- e. Mikroskop digital
- f. Jangka Sorong
- g. Mesin *CNC Milling*
- h. *Minitab statistical software 2022*

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kawat las E6013 diameter 2 mm
- b. Baja SS 400 tebal 4 mm

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan parameter penelitian yang dikendalikan dan divariasikan oleh peneliti dengan tujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan variabel tersebut terhadap respons atau variabel terikat. Dapat dilihat pada Tabel 3.1 variabel yang digunakan pada penelitian.

Tabel 3.1 Faktor dan level penelitian

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

Penelitian ini menerapkan matriks ortogonal L9 (3^3) guna memperoleh jumlah percobaan yang efisien, namun tetap memberikan informasi yang cukup mengenai pengaruh faktor-faktor penelitian terhadap respons yang diamati. Matriks ortogonal yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Matriks ortogonal L9 (3^3)

Percobaan	Kode Parameter			Uji Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
	A	B	C	1	2	3	
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				

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi dari variabel bebas di dalam penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini ialah kekuatan tarik, struktur mikro dan fraktografi.

3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah faktor atau kondisi dalam penelitian yang dijaga tetap konstan atau tidak berubah agar tidak memengaruhi hasil eksperimen. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Kawat las E6013 diameter 2mm.
- Baja SS400 tebal 4mm.
- Posisi pengelasan 1G.
- Standar spesimen pengujian tarik ASTM E8.

3.4 Prosedur Penelitian

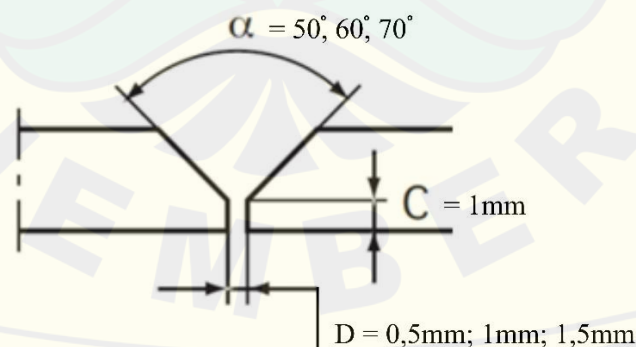
3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji berbagai referensi ilmiah berupa jurnal, buku, dan hasil penelitian terdahulu yang membahas pengelasan SMAW, pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik baja, serta metode pengujian kekuatan tarik, metalografi, dan fraktografi pada baja karbon rendah.

3.4.2 Pembuatan Spesimen

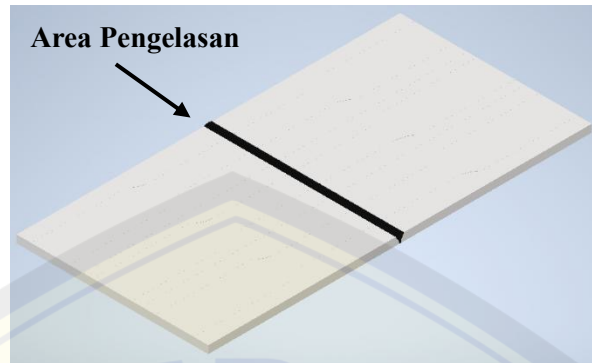
Pembuatan spesimen dilakukan dengan teliti agar sesuai standar ASTM E8, Langkah-langkah pembuatan spesimen antara lain sebagai berikut:

- Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
- Memotong pelat baja 4 mm dengan jenis kampuh V menggunakan mesin potong.
- Variasi sudut kampuh V ditentukan sesuai rancangan yaitu 50° , 60° dan 70° .
- Variasi root gap atau celah antar logam induk digunakan variasi 0,5mm; 1mm dan 1,5mm.



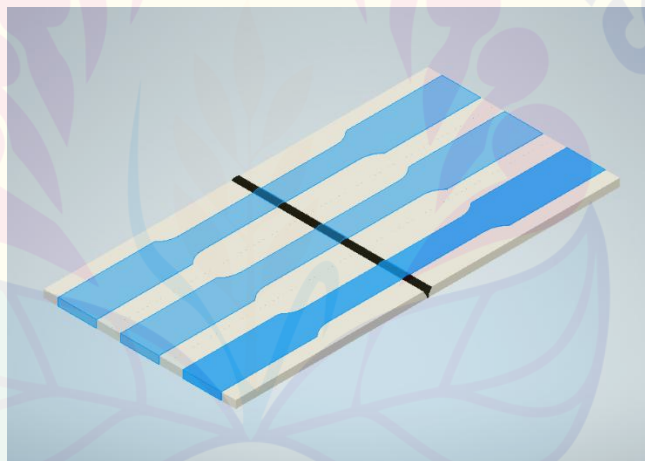
Gambar 3.1 Geometri kampuh V

- e. Melakukan pengelasan SMAW menggunakan elektroda E6013 dengan arus rekomendasi yaitu 55 A, 65 A dan 75 A.



Gambar 3.2 Area pengelasan pelat

- f. Melakukan pemotongan pelat baja ss400 4mm menggunakan mesin gerinda dan mesin cnc *milling* hingga membentuk spesimen ASTM E8.



Gambar 3.3 Skema pemotongan spesimen uji tarik ASTM E8

Tebal material atau bahan baja karbon SS400 yang akan digunakan pada penelitian adalah 4 mm.

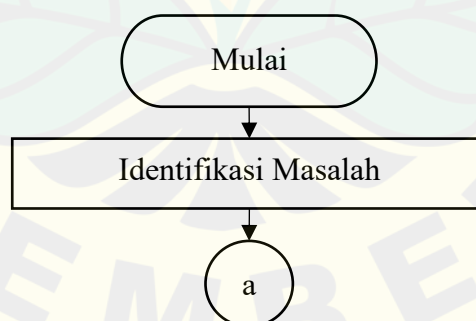
3.4.3 Pengujian Spesimen

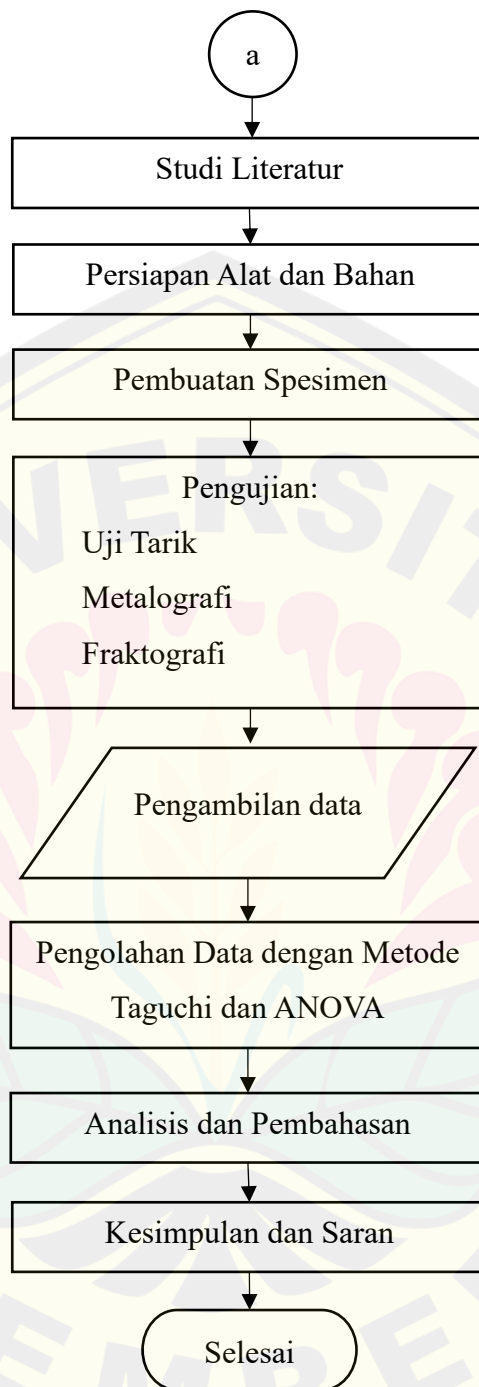
- a. Melakukan pengujian tarik pada spesimen baja ss 400 untuk mengetahui sifat mekanik sambungan las yaitu kekuatan tarik maksimum.

- b. Pengujian fraktografi dilakukan untuk mengamati permukaan patahan spesimen setelah uji tarik menggunakan mikroskop digital.
- c. Setelah pengujian fraktografi dilakukan, selanjutnya spesimen akan dipotong pada daerah lasan untuk mengamati struktur mikro pada daerah logam las, HAZ dan logam induk.
- d. Hasil potongan tersebut kemudian di resin untuk memudahkan saat proses uji mikro, dengan komposisi resin 99% dan katalis 1%.
- e. Proses pengamplasan dilakukan sebanyak 5 kali dengan ukuran amplas air *grade* 200, 500, 1000, 1500 dan 2000.
- f. Kemudian untuk menghilangkan goresan halus spesimen diberi autosol, terakhir untuk menampilkan batas butir dan fasa dilakukan proses etsa dengan campuran cairan HNO_3 2% dan etanol 98% selama 10 detik.
- g. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengamati penampang hasil pengelasan menggunakan mikroskop optik dengan lensa 50 $\times$ dan 500 $\times$. Pengujian mikro digunakan untuk mengamati struktur mikro pada daerah logam las, HAZ, dan logam induk.

3.5 Diagram Alir

Diagram alir untuk menggambarkan penelitian yang akan dilakukan ditampilkan pada Gambar 3.4.





Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Manufaktur Pembuatan Spesimen Uji Tarik ASTM E8

Proses pembuatan spesimen uji tarik ditunjukkan pada Gambar 4.1 diawali dengan pemotongan pelat baja SS400 menjadi sembilan bagian sesuai dengan jumlah variabel yang dibutuhkan. Setelah pelat terpotong, dilakukan proses preparasi sudut pada tepi spesimen menggunakan kikir untuk membentuk sudut kampuh sebesar 50°, 60°, dan 70°. Akurasi sudut ini dipastikan dengan melakukan pengukuran menggunakan busur derajat agar sesuai dengan desain sambungan yang direncanakan. Langkah selanjutnya adalah pengaturan celah akar (*root gap*) dengan variasi jarak 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm, yang kemudian dilanjutkan dengan proses pengelasan. Pada tahap pengelasan ini, digunakan variasi arus sebesar 55 Ampere, 65 Ampere, dan 75 Ampere untuk menyambungkan dua pelat baja tersebut.

Setelah proses pengelasan selesai dan pelat tersambung sempurna, dilakukan pembentukan dimensi spesimen menggunakan mesin CNC *Milling*. Proses pemesinan ini bertujuan untuk membentuk profil “*dog-bone*” sesuai dengan standar geometri ASTM E8, sehingga memastikan hasil uji tarik nantinya akurat dan patahan terjadi pada area kerja (*gauge length*).



Gambar 4.1 Proses manufaktur pembuatan spesimen ASTM E8

Produk akhir dari rangkaian proses ini adalah spesimen uji tarik baja SS400 yang siap untuk dilakukan pengujian mekanik. Pada gambar 4.2 terdapat sembilan variasi percobaan spesimen dan setiap variasi percobaan terdapat tiga spesimen, jadi total ada 27 buah spesimen uji tarik ASTM E8.



Gambar 4.2 Spesimen uji tarik ASTM E8 baja SS400

4.2 Data Hasil Uji Tarik

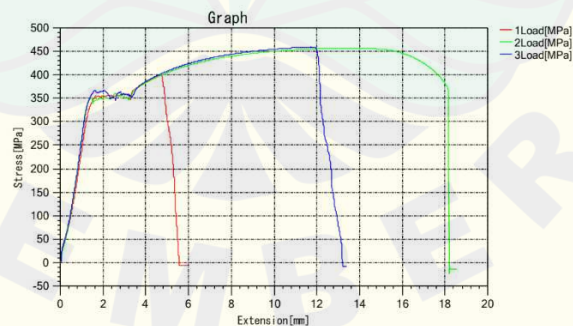
Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik sambungan las baja SS400 akibat variasi arus pengelasan dengan elektroda E6013, sudut kampuh V, dan *root gap*. Spesimen uji tarik mengacu pada standar ASTM E8 dengan spesimen berbentuk pelat sesuai dimensi yang telah ditentukan. Spesimen uji tarik ASTM E8 yang telah diuji dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Spesimen hasil uji tarik

Data hasil pengujian tarik untuk spesimen 9 disajikan dalam bentuk grafik hubungan tegangan dan regangan. Gambar 4.4 menunjukkan perilaku mekanik dari tiga sampel yang diuji untuk melihat konsistensi kekuatan sambungan las pada parameter tersebut.

Kekuatan Tarik Welding Baja SS400 dengan Arus 75 Amper, Sudut 70 derajat rootgap 1 mm



	Width mm	Thickness mm	Section area mm ²	Upper yield point Stress MPa	Max point Stress MPa	Break point Elongation %GL	Upper yield point Load N
1	12.500	3.7400	46.750	354.53	398.41	5.9200	16574
2	12.640	3.7400	47.274	350.01	456.57	18.400	16546
3	12.700	3.7400	47.498	366.29	459.12	13.261	17398

Gambar 4.4 Grafik uji tarik spesimen 9

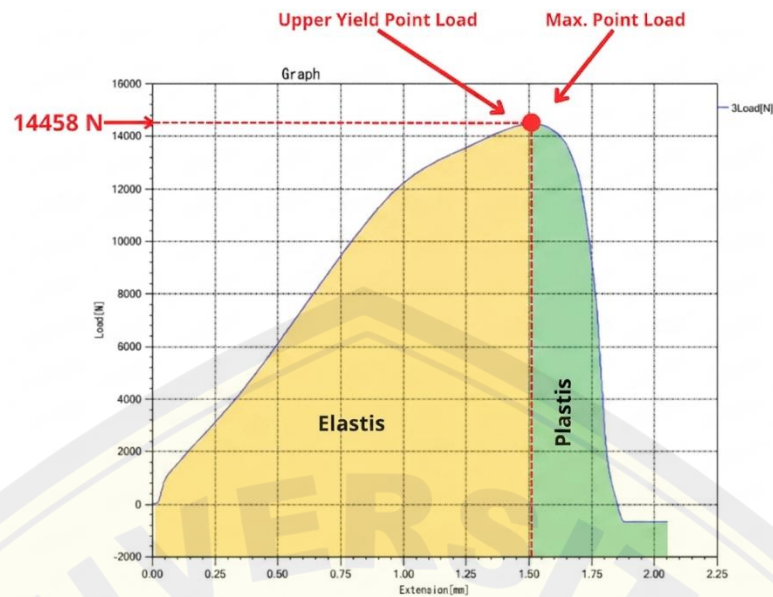
Pengujian spesimen 9 menghasilkan nilai rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS) sebesar 438,03 MPa. Sampel 2 dan 3 menunjukkan performa optimal dengan UTS yang konsisten tinggi (di atas 456 MPa). Namun, pada Sampel 1 memperoleh nilai UTS terendah (398,41 MPa). Data kekuatan tarik maksimal inilah yang akan dijadikan fokus penelitian, yang akan diolah menggunakan metode taguchi dan ANOVA, serta untuk data pendukung akan dilakukan analisis patahan dan analisis struktur mikro pada nilai UTS terendah dan tertinggi.

Nilai kekuatan tarik diperoleh dari tegangan maksimum yang dihasilkan pada setiap spesimen. Berikut merupakan data hasil pengujian tarik yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian tarik

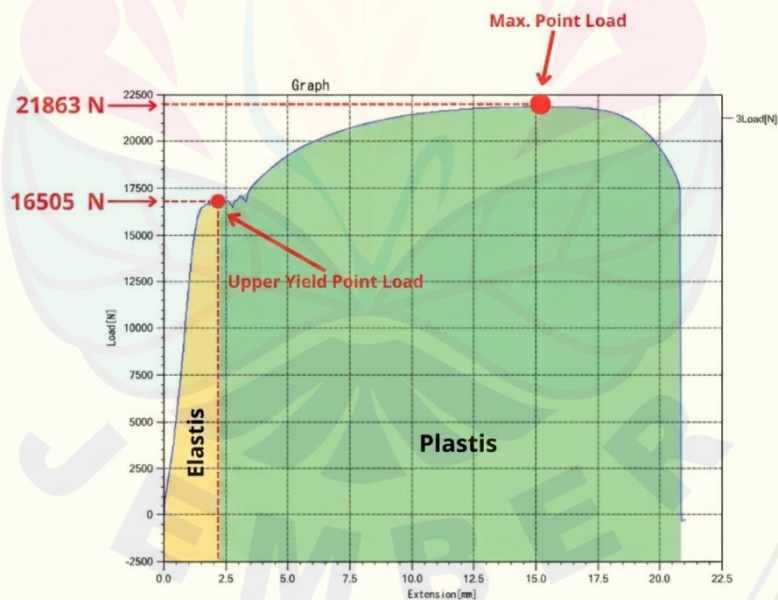
No	Kode Parameter			Uji Tarik (MPa)			Rata-rata (MPa)
	A	B	C	1	2	3	
1	55	50	0,5	310,87	332,46	300,60	314,64
2	55	60	1	453,53	386,31	472,95	437,60
3	55	70	1,5	431,19	461,03	427,02	439,75
4	65	50	1	406,56	433,70	342,57	394,28
5	65	60	1,5	432,48	364,90	332,64	376,67
6	65	70	0,5	418,60	392,79	382,65	398,01
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 4.1 nilai kekuatan tarik terendah ditunjukkan dengan warna abu-abu (Spesimen 1C) dan nilai kekuatan tarik tertinggi ditunjukkan dengan warna biru (Spesimen 2C) . Untuk memberikan gambaran secara lebih mendalam, bagian berikut Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 akan menyajikan dan menganalisis grafik hasil uji tarik dari kedua spesimen tersebut.



Gambar 4.5 Grafik uji tarik spesimen 1C

Pada Gambar 4.5 *upper yield poin load* dan *max. point load* berada pada titik yang sama tanpa adanya fase perpanjangan plastis yang signifikan, maka patahan pada spesimen ini (1C) bersifat getas.



Gambar 4.6 Grafik uji tarik spesimen 2C

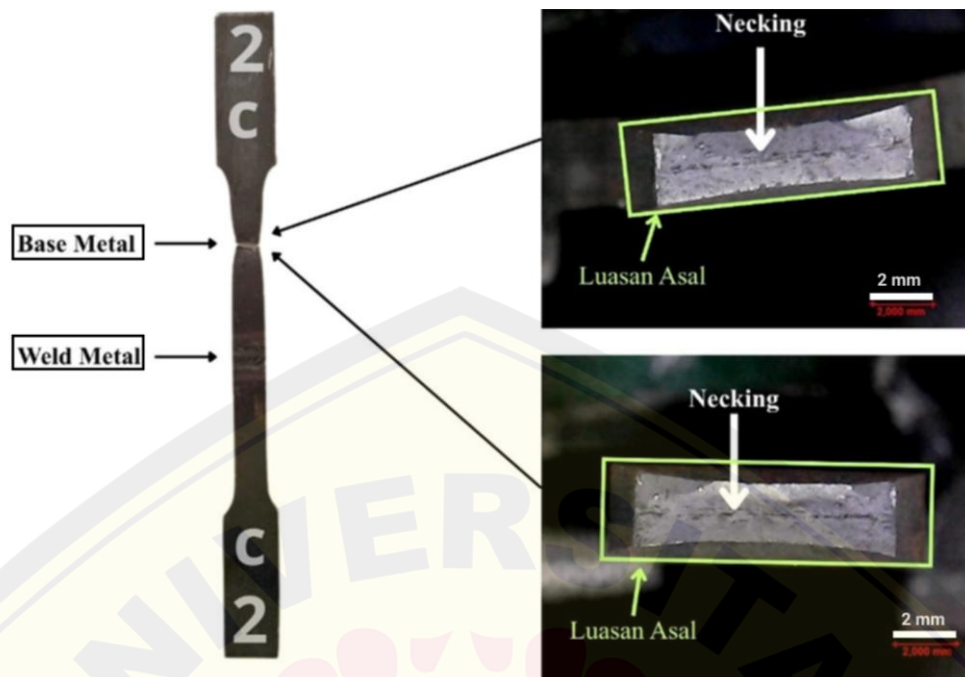
Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, terlihat perbedaan perilaku mekanik yang sangat berbeda antara spesimen 1C dan 2C melalui kurva beban-ekstensi yang dihasilkan. Pada tabel 4.2 ditampilkan nilai *yield strength* dan UTS pada tiap spesimen.

Tabel 4.2 Nilai *yield strength* dan UTS spesimen 1C dan 2C

No	Spesimen	<i>Yield strength</i> (MPa)	UTS (Mpa)
1	1C	300,6	300,6
2	2C	357,06	472,95

Spesimen 1C menunjukkan karakteristik material yang cenderung getas atau mengalami kegagalan prematur, di mana nilai *yield strength* dan UTS berada pada angka yang sama, yaitu 300,6 MPa. Hal ini diperkuat oleh grafik (a) yang menunjukkan pertambahan panjang (ekstensi) sangat terbatas, hanya sekitar 1,9 mm, sebelum spesimen tersebut patah seketika tanpa melalui fase plastis yang landai. Sebaliknya, spesimen 2C menunjukkan performa yang jauh lebih unggul dengan kekuatan tarik maksimum mencapai 472,95 MPa dan daktilitas yang jauh lebih baik. Grafik (b) pada spesimen 2C memperlihatkan daerah plastis yang sangat luas dengan ekstensi mencapai 20,9mm sebelum spesimen mengalami putus. Perbedaan signifikan ini mengindikasikan bahwa parameter pengelasan pada spesimen 1C tidak mampu membentuk sambungan yang kuat, kemungkinan akibat penetrasi yang buruk atau cacat las, sementara spesimen 2C berhasil mencapai kekuatan optimal baja SS400 dengan ketangguhan yang tinggi.

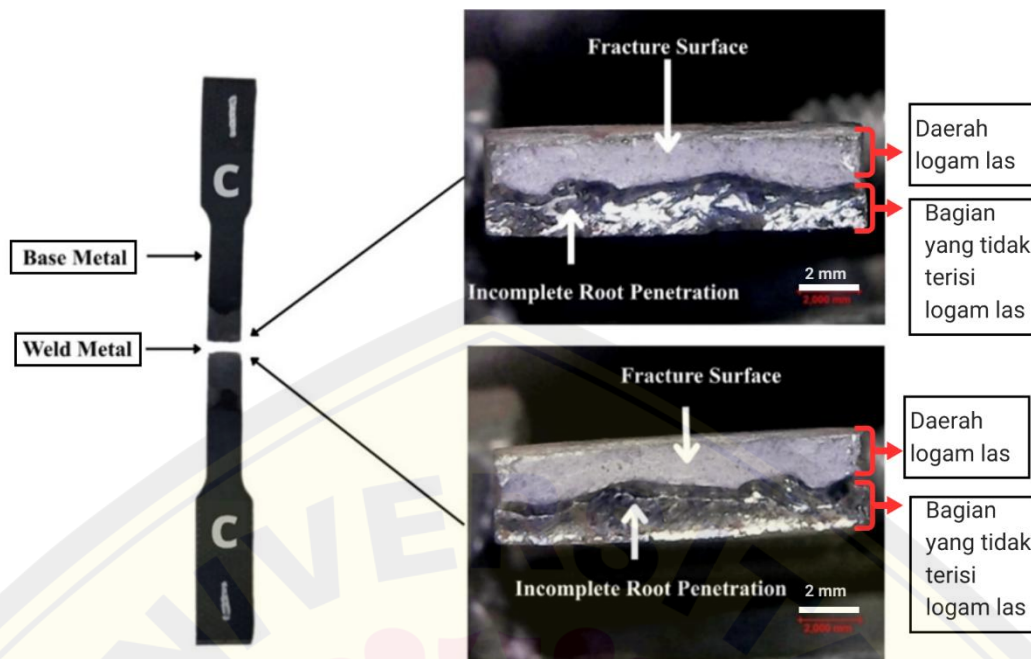
Analisis perbedaan sifat mekanik diperkuat melalui uji fraktografi yang ditampilkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut, dengan mengamati karakteristik permukaan patahan. Secara visual, spesimen 1C dan 2C menunjukkan mekanisme patahan yang berbeda, sejalan dengan hasil pengujian tarik sebelumnya.



Gambar 4.7 Permukaan patahan spesimen 2C

Berdasarkan Gambar 4.7 patahan tidak terjadi pada daerah sambungan las, melainkan pada logam induk (*base metal*). Hal ini mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan las beserta daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) lebih tinggi dibandingkan kekuatan logam induknya.

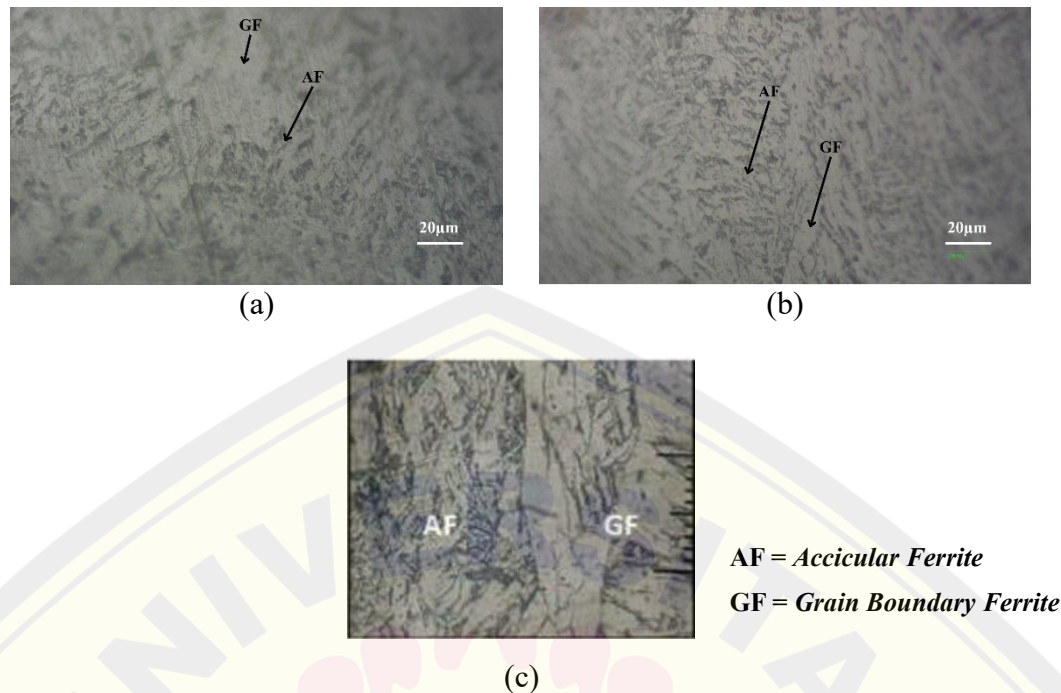
Secara visual, permukaan patahan memperlihatkan karakteristik patah ulet (*ductile fracture*) yang dominan, ditandai dengan adanya reduksi penampang (*necking*) yang jelas sebelum terjadinya kegagalan. Permukaan patahan tampak kasar dan berwarna abu-abu kusam, yang menunjukkan bahwa material mengalami deformasi plastis yang signifikan serta mampu menyerap energi mekanik dalam jumlah besar sebelum patah.



Gambar 4.8 Permukaan patahan spesimen 1C

Hasil pengamatan fraktografi pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa patahan terjadi sepenuhnya pada area logam las (*weld metal*). Permukaan patahan ini didominasi oleh karakteristik patah getas (*brittle fracture*) yang ditandai dengan permukaan yang relatif rata dan minimnya deformasi plastis atau *necking* sebelum kegagalan terjadi. Selain itu rendahnya kekuatan tarik pada spesimen ini disebabkan oleh adanya cacat berupa *incomplete penetration* atau penetrasi yang tidak sempurna akibat sempitnya akar las.

Untuk menjelaskan perbedaan mekanisme patahan pada spesimen 1C dan 2C, dilakukan analisis struktur mikro pada daerah las. Perbedaan karakter patahan tersebut berkaitan erat dengan struktur mikro yang terbentuk selama proses pengelasan. Gambar 4.9 berikut adalah struktur mikro pada daerah las, pengamatan menggunakan lensa objektif dengan pembesaran 500 $\times$.



Gambar 4.9 Struktur mikro *weld metal*; (a) Spesimen 1C; (b) Spesimen 2C; (c) Penelitian terdahulu (Anshori et al., 2020)

Dapat diamati dari gambar bahwa pada Gambar 4.8 (b) fasa *accicular ferrite* lebih dominan, fasa *acicular ferrite* sangat diharapkan ada pada saat proses pengelasan karena memiliki ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain (Hamdi, 2020). Sedangkan pada Gambar 4.8 (a) fasa *grain boundary ferrite* (GF) lebih dominan daripada fasa *accicular ferrite*. Dominasi fasa *grain boundary ferrite* menyebabkan penurunan kekuatan mekanik karena fasa ini terbentuk di sepanjang batas butir yang cenderung menjadi jalur mudah bagi perambatan retak.

Hasil struktur mikro pada daerah las yang diperoleh dalam penelitian ini selanjutnya dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah las menunjukkan kesesuaian dengan penelitian terdahulu, yaitu sama-sama terbentuk fasa *acicular ferrite* (AF) dan *grain boundary ferrite* (GF). Fasa *acicular ferrite* muncul di area pengelasan dikarenakan laju pendinginan di area pengelasan ini cukup sedang dan juga dipengaruhi oleh inklusi (A. N. Kurniawan et al., 2018). Inklusi merupakan partikel halus sebagai akibat dari reaksi

oksidasi atau reduksi selama proses pengelasan dan tidak ikut larut dalam logam las cair (Desmon, 2022).

4.2.1 Perhitungan S/N Ratio

Perhitungan *Signal to Noise (S/N) Ratio* digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil pengujian serta menentukan kombinasi parameter terbaik dalam penelitian ini. Melalui metode Taguchi, nilai S/N Ratio digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh variasi geometri kampuh dan arus las terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400. Hasil perhitungan S/N Ratio untuk setiap kombinasi parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah *larger is better*, karena karakteristik yang diinginkan adalah nilai kekuatan tarik yang semakin besar, sehingga menunjukkan kualitas sambungan las yang lebih baik. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai S/N Ratio, maka semakin optimal pula parameter yang digunakan. Salah satu contoh perhitungan S/N ratio dengan nilai kekuatan tarik menggunakan rumus *large is better* pada kombinasi parameter pertama adalah sebagai berikut.

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

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{310,87^2} + \frac{1}{332,46^2} + \frac{1}{300,60^2} \right) \right)$$

$$\frac{S}{N} = 49,93$$

Perhitungan S/N rasio *larger is better* yang telah dilakukan dapat diterapkan pada variasi setelahnya dan didapatkan nilai S/N rasio yang ditampilkan pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Nilai S/N Ratio kekuatan tarik spesimen baja SS400

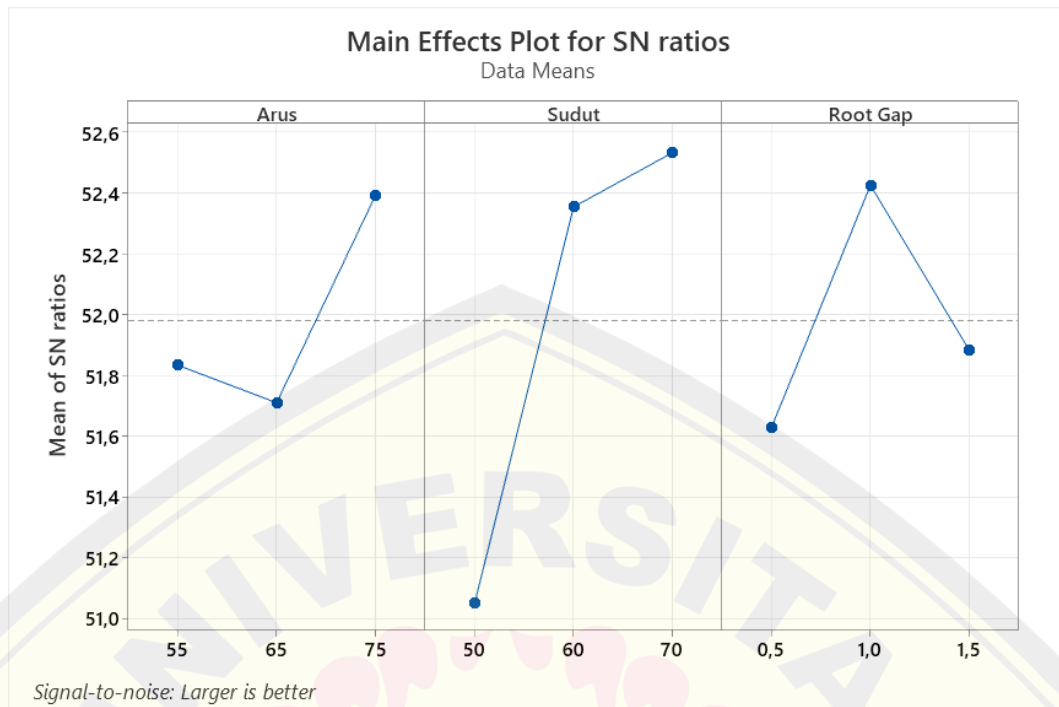
No	Parameter			S/N Rasio (<i>Large is Better</i>)
	Arus (A)	Sudut (°)	Root Gap (mm)	
1	55	50	0,5	49,93
2	55	60	1	52,72
3	55	70	1,5	52,85
4	65	50	1	51,79
5	65	60	1,5	51,37
6	65	70	0,5	51,98
7	75	50	1,5	51,43
8	75	60	0,5	52,98
9	75	70	1	52,77

Berdasarkan hasil analisis respon S/N Ratio dengan karakteristik *larger is better* pada Tabel 4.4, diketahui bahwa setiap faktor memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan tarik sambungan las. Faktor sudut kampuh memiliki nilai delta terbesar yaitu 1,48 sehingga menjadi faktor yang paling berpengaruh, diikuti oleh *root gap* dan arus las.

Tabel 4.4 Respon 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

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.10 *Main Effects Plot for S/N ratios*, terlihat bahwa faktor sudut kampuh memiliki pengaruh paling dominan terhadap kekuatan tarik karena menunjukkan kemiringan grafik paling curam dengan peningkatan signifikan dari level rendah ke tinggi. Faktor *root gap* menunjukkan pola naik kemudian turun, yang mengindikasikan adanya nilai optimum pada level tengah, dimana kekuatan tarik maksimum dicapai. Sementara itu, faktor arus menunjukkan perubahan yang relatif kecil dengan grafik yang cenderung landai, sehingga pengaruhnya terhadap kekuatan tarik tidak sebesar faktor lainnya.



Gambar 4.10 Efek setiap faktor untuk S/N ratio kekuatan tarik baja ss400

4.2.2 Penentuan Parameter Optimal

Nilai S/N Ratio tertinggi untuk masing-masing faktor dapat dilihat pada Tabel 4.5 diperoleh pada arus level 3, sudut level 3, dan *root gap* level 2. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi parameter tersebut merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan kekuatan tarik maksimum.

Hasil ini juga diperkuat oleh grafik *main effects plot*, dimana faktor sudut menunjukkan kemiringan grafik yang paling signifikan dibandingkan faktor lainnya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sudut kampuh merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi kekuatan tarik sambungan las baja SS400.

Tabel 4.5 Kombinasi parameter optimal

Faktor Kendali	Level	Nilai
Sudut (°)	3	70°
<i>Root Gap</i> (mm)	2	1 mm
Arus (A)	3	75A

4.2.3 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi sebelum dilakukan analisis ANOVA. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah data yang diperoleh memiliki variansi yang sama (homogen) antar kelompok perlakuan.

Pengujian homogenitas dilakukan dengan membandingkan nilai signifikansi (P-value) dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Apabila nilai P-value lebih besar dari 0,05, maka data dinyatakan homogen, sedangkan jika P-value lebih kecil dari 0,05 maka data tidak homogen. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada Tabel 4.6 dengan menggunakan metode Levene.

Tabel 4.6 Uji homogenitas hasil pengujian tarik baja SS400

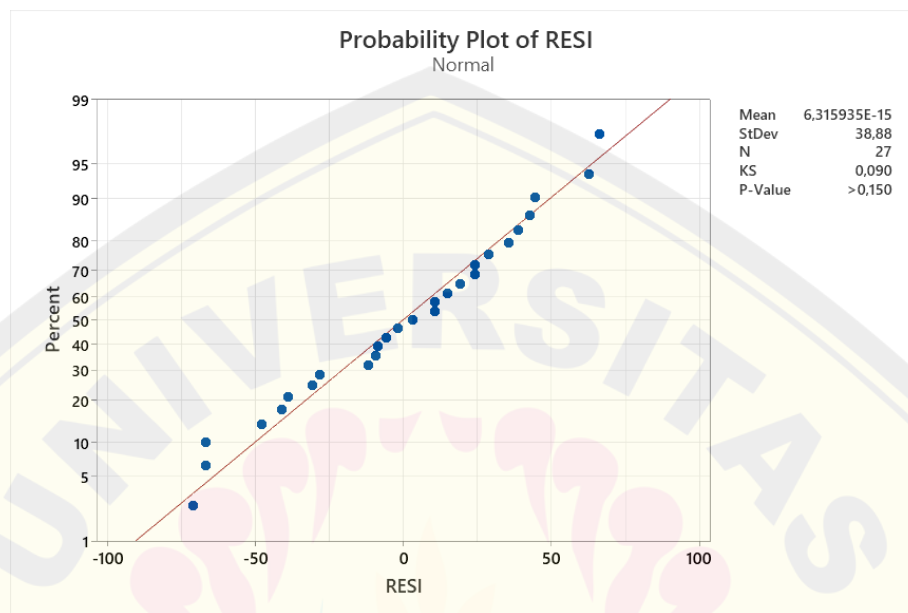
Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0,634
Levene	0,58	0,778

Berdasarkan hasil uji homogenitas menggunakan metode Levene pada Tabel 4.6, diperoleh nilai P-value sebesar 0,778. Karena nilai tersebut lebih besar dari taraf signifikansi 0,05 ($0,778 > 0,05$), maka dapat disimpulkan bahwa data memiliki variansi yang homogen. Dengan demikian, data memenuhi salah satu asumsi untuk dilakukan analisis ANOVA.

4.2.4 Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan salah satu asumsi yang harus dipenuhi sebelum dilakukan analisis ANOVA. Dalam analisis ANOVA, yang diuji kenormalannya bukan data hasil pengujian secara langsung, melainkan nilai residual. Residual adalah selisih antara nilai hasil pengujian tarik dengan nilai prediksi yang dihasilkan oleh model ANOVA. Pada penelitian ini digunakan metode *one way ANOVA*, sehingga nilai prediksi diperoleh dari model yang mempertimbangkan pengaruh masing-masing faktor, yaitu arus, sudut, dan *root gap*, serta interaksi antar faktor tersebut. Pengujian normalitas pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Kolmogorof-Smirnov* dengan bantuan perangkat lunak *Minitab*.

Kriteria pengambilan keputusan didasarkan pada nilai signifikansi (P -value), yaitu jika P -value lebih besar dari 0,05 maka residual berdistribusi normal, sedangkan jika P -value lebih kecil dari 0,05 maka residual tidak berdistribusi normal.



Gambar 4.11 Grafik uji normalitas residual hasil pengujian tarik baja SS400

Berdasarkan hasil uji normalitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, diperoleh nilai P -value sebesar 0,150. Karena nilai tersebut lebih besar dari 0,05 ($0,150 > 0,05$), maka dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal. Dengan demikian, asumsi normalitas pada analisis ANOVA telah terpenuhi.

Selain itu, secara visual pada grafik *probability plot* terlihat bahwa titik-titik data cenderung mengikuti dan berada di sekitar garis diagonal. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi residual mendekati distribusi normal, sehingga memperkuat hasil pengujian secara statistik.

4.2.5 ANOVA

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA yang disajikan pada Tabel 4.4, tingkat signifikansi dapat ditentukan dengan mengacu pada nilai F -table yang digunakan sebagai pembanding. Dalam penelitian ini, taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$ atau 5% dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%,

sehingga diperoleh nilai *F-table* sebesar 3,03 yang didapatkan dari perhitungan $df_1 = 4 - 1 = 3$ dan $df_2 = 27 - 4 = 23$. Hasil analisis ANOVA ini digunakan untuk mengetahui pengaruh faktor geometri kampuh dan arus las terhadap kekuatan tarik sambungan baja SS400, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data ANOVA kekuatan tarik baja SS400

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

4.2.6 Uji Hipotesis F

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA pada Tabel 4.6, Signifikan hasil tersebut dapat ditentukan dengan mengacu pada *F-table*. Dalam analisis ini, nilai *F-value* dibandingkan dengan *F-table* untuk mengetahui apakah variasi parameter berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan uji F kekuatan tarik baja SS400

Faktor	<i>F-value</i>	<i>F-table</i>	<i>P-value</i>
Arus	1,41	3,03	Tidak Signifikan
Sudut	5,18	3,03	Signifikan
<i>Root Gap</i>	1,59	3,03	Tidak signifikan

Adapun hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H_0 = Menyatakan bahwa variasi sudut kampuh, *root gap*, dan arus pengelasan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las baja SS400.

H1 = Menyatakan bahwa variasi sudut kampuh, *root gap*, dan arus pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las baja SS400.

Adapun rincian analisis untuk setiap faktor berdasarkan hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut:

a. Arus

Nilai $F\text{-value} = 1,41$ dan $F\text{-table} = 3,03$; karena $F\text{-value} < F\text{-table}$ maka tolak H1 dan terima H0 yang berarti perbedaan level pada faktor arus pengelasan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan maksimum uji tarik.

b. Sudut

Nilai $F\text{-value} = 5,18$ dan $F\text{-table} = 3,03$; karena $F\text{-value} > F\text{-table}$ maka tolak H0 dan terima H1 yang berarti perbedaan level pada faktor sudut kampuh memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan maksimum uji tarik.

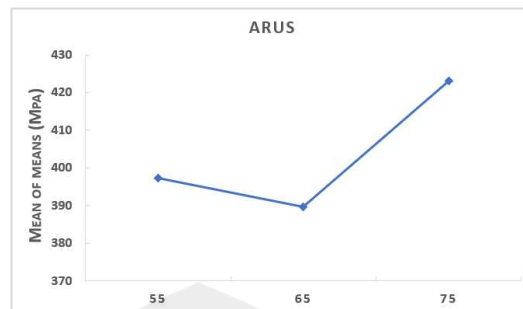
c. *Root Gap*

Nilai $F\text{-value} = 1,59$ dan $F\text{-table} = 3,03$; karena $F\text{-value} < F\text{-table}$ maka tolak H1 dan terima H0 yang berarti perbedaan level pada faktor *root gap*/celah antar logam las tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan maksimum uji tarik.

4.3 Pembahasan Pengaruh Parameter terhadap Kekuatan Tarik

4.3.1 Arus

Kuat arus pengelasan tidak berpengaruh pada hasil kekuatan tarik material, Karena $P\text{-value} (0,267) > 0,05$; maka secara statistik parameter arus tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variasi kekuatan tarik pada penelitian ini. Meskipun tidak signifikan secara statistik, grafik menunjukkan pola yang ditampilkan pada Gambar 4.12 berikut.

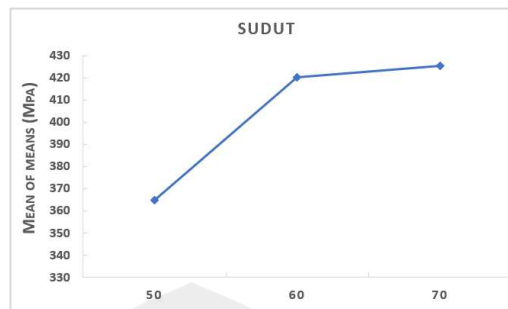


Gambar 4.12 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter arus

Berdasarkan hasil observasi pada sampel dengan arus 65 A, penurunan kekuatan tarik yang terjadi dapat dikaitkan dengan munculnya cacat pengelasan berupa *incomplete root penetration* (penetrasi akar tidak sempurna). Cacat ini menunjukkan bahwa logam las tidak mampu mengisi bagian akar sambungan secara utuh. Selain faktor parameter mesin, kemunculan cacat ini juga dipengaruhi oleh faktor stabilitas selama proses pengelasan. Kehadiran cacat penetrasi ini secara langsung mengurangi luas penampang efektif sambungan, yang pada akhirnya menjadi penyebab lokasi kegagalan pada logam las dari spesimen uji tarik (Poonnayom et al., 2015).

4.3.2 Sudut

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, parameter sudut kampuh terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik baja SS400, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai *P-value* sebesar 0,015 pada tabel ANOVA. Hasil ini berada di bawah taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ yang menegaskan bahwa variasi sudut merupakan faktor kritis dalam menentukan kualitas sambungan las. Secara visual, grafik *Mean of Means* pada Gambar 4.13 menunjukkan tren kenaikan kekuatan tarik yang konsisten seiring dengan bertambahnya besaran sudut dari 50° hingga 70°, di mana nilai optimal dicapai pada sudut 70°.

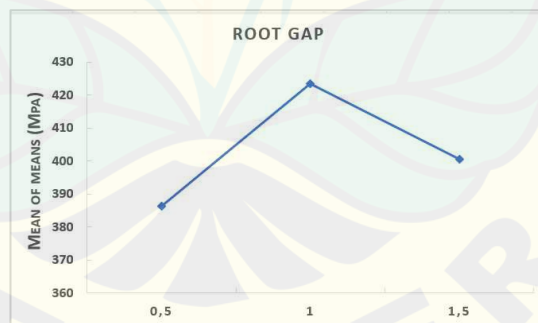


Gambar 4.13 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter sudut

Fenomena ini selaras dengan tren penelitian terdahulu dengan hasil menunjukkan bahwa peningkatan sudut kampuh memberikan ruang yang lebih luas bagi elektroda untuk melakukan penetrasi yang lebih dalam dan distribusi logam pengisi yang lebih merata.

4.3.3 Root Gap

Berdasarkan hasil uji ANOVA ($P\text{-value } 0,228 > 0,05$), variasi *Root Gap* secara statistik tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik. Meskipun demikian, data Gambar 4.14 grafik menunjukkan adanya titik optimal kekuatan tarik tertinggi dicapai pada celah 1 mm.



Gambar 4.14 Nilai rata-rata kekuatan tarik parameter *root gap*

Pola grafik ini sejalan dengan penelitian terdahulu di mana nilai kekuatan tidak naik terus-menerus, melainkan membentuk pola naik-turun. Secara teknis, hal ini sangat logis. Celah yang terlalu sempit membuat cairan las sulit menembus hingga ke bagian bawah pelat, sehingga sambungan kurang matang (*incomplete*

root penetration). Selain itu, celah terlalu lebar juga dapat menyebabkan cacat *incomplete root penetration* (Suherman & Abdullah, 2020), yang menyebabkan rendahnya nilai kekuatan tarik.

4.3.4 Analisis Kontribusi Parameter Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik

Berdasarkan hasil ANOVA, faktor arus tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las. Kondisi ini karena variasi arus yang digunakan masih mampu menghasilkan proses peleburan dan penetrasi yang relatif serupa pada sebagian besar spesimen. Akibatnya, perubahan *heat input* akibat variasi arus belum menghasilkan perbedaan kualitas sambungan yang cukup besar sehingga nilai kekuatan tarik yang diperoleh tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik.

Sebaliknya, variasi sudut kampuh memberikan kontribusi pengaruh yang lebih besar terhadap kekuatan tarik karena sudut kampuh secara langsung mempengaruhi geometri sambungan, distribusi logam las, luas penetrasi, serta kualitas fusi antar material. Berdasarkan hasil pengamatan makro pada beberapa spesimen ditemukan cacat *incomplete root penetration* yang menunjukkan bahwa desain geometri kampuh memiliki pengaruh besar terhadap keberhasilan penetrasi pada akar sambungan.

Sudut kampuh yang terlalu sempit menyebabkan busur las dan logam cair sulit mencapai bagian *root* sehingga proses peleburan pada akar sambungan tidak terjadi secara sempurna. Kondisi ini menghambat distribusi panas menuju akar sambungan meskipun arus pengelasan ditingkatkan. Dengan demikian, peningkatan arus belum tentu mampu menghasilkan penetrasi penuh apabila geometri kampuh tidak memberikan akses yang cukup bagi busur las dan logam cair untuk mencapai bagian *root*.

Adanya cacat *incomplete root penetration* menyebabkan berkurangnya luas penampang efektif sambungan serta meningkatkan konsentrasi tegangan pada daerah *root*. Kondisi tersebut menyebabkan spesimen lebih mudah mengalami kegagalan saat pengujian tarik sehingga nilai kekuatan tarik menurun. Hal ini menunjukkan bahwa geometri kampuh, khususnya sudut kampuh, memberikan

kontribusi pengaruh yang lebih besar dibandingkan arus pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las pada penelitian ini.



BAB 5.PENUTUP

5.1 Kesimpulan

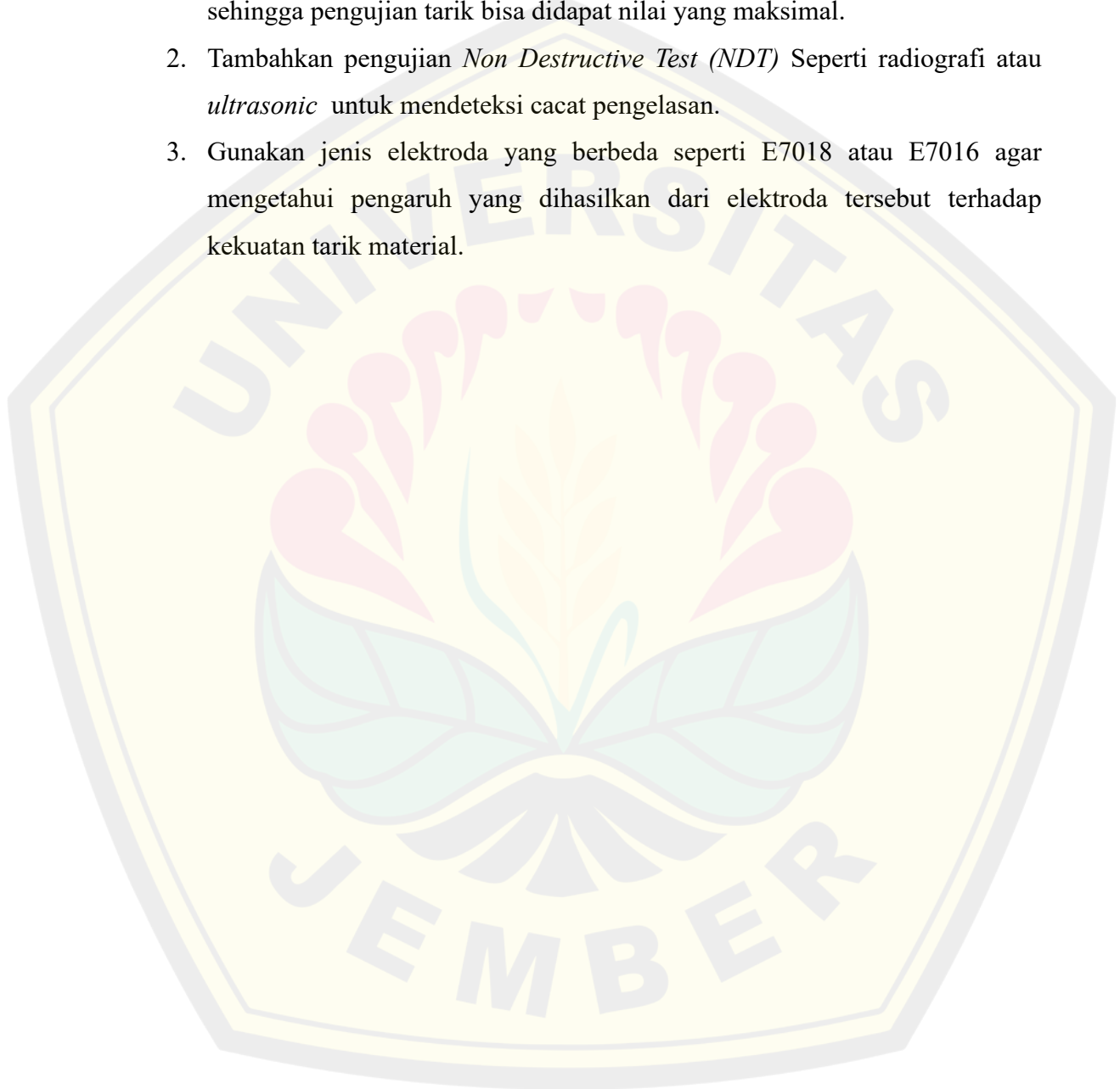
Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh geometri kampuh dan arus las SMAW terhadap kekuatan tarik baja SS400 menggunakan metode taguchi, didapatkan beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Pada pengujian tarik menggunakan spesimen standar ASTM E8, variabel sudut kampuh memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las dengan nilai *F-value* 5,18 yang lebih besar dari *F-tabel* 3,03. Sebaliknya, variabel arus pengelasan (*F-value* 1,41) dan *root gap* (*F-value* 1,59) tidak berpengaruh signifikan karena nilai *F-value* lebih kecil dari *F-tabel*. Pengaruh sudut kampuh yang lebih dominan menunjukkan bahwa geometri sambungan berperan penting dalam menentukan kualitas penetrasi dan fusi pada daerah akar las. Geometri kampuh yang kurang sesuai menyebabkan terjadinya cacat *incomplete root penetration* yang mengurangi luas penampang efektif sambungan dan menjadi titik konsentrasi tegangan serta pusat awal patahan saat pengujian tarik.
2. Berdasarkan analisis taguchi dan tabel ANOVA parameter yang paling berpengaruh adalah sudut kampuh. Adapun kombinasi parameter optimal yang dihasilkan untuk mencapai nilai kekuatan tarik maksimal pada penelitian ini adalah sudut kampuh 70°, *root gap* 1mm dan arus pengelasan 75A.
3. Berdasarkan pengujian struktur mikro pada area logam las dan HAZ didapatkan fasa *accicular ferrite* dan fasa *grain boundary ferrite*. Sedangkan pada *base metal* didapatkan fasa ferit dan perlit. Terdapat kesesuaian fasa yang didapat pada tiap bagian dengan penelitian terdahulu karena bahan yang digunakan sama yaitu baja karbon rendah SS400. Pada pengujian fraktografi didapat dua jenis patahan yaitu patah getas yang terletak di *weld metal*. Sedangkan jenis patah yang terletak di *base metal* yaitu *ductile fracture* atau patah ulet.

5.2 Saran

Saran yang bisa peneliti sampaikan untuk penelitian selanjutnya agar hasil yang didapatkan bisa lebih maksimal antara lain sebagai berikut:

1. Untuk menghindari cacat las penetrasi pada akar gunakanlah teknik *back weld* untuk memastikan area logam pengelasan terhubung dengan sempurna sehingga pengujian tarik bisa didapat nilai yang maksimal.
2. Tambahkan pengujian *Non Destructive Test (NDT)* Seperti radiografi atau *ultrasonic* untuk mendeteksi cacat pengelasan.
3. Gunakan jenis elektroda yang berbeda seperti E7018 atau E7016 agar mengetahui pengaruh yang dihasilkan dari elektroda tersebut terhadap kekuatan tarik material.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, G. D., Pratiwi, S. W., & Isnarwaty, D. P. (2023). Pendekatan Desain Eksperimen Taguchi sebagai Metode Optimasi pada Bidang Teknik dan Industri (studi kasus pada proses bundling kemasan). *SainsTech Innovation Journal*, 6(2), 380–388. <https://doi.org/10.37824/sij.v6i2.2023.617>
- Anshori, M. F., Suharjo, & Estriyanto, Y. (2020). Pengaruh Variasi Besar Sudut Kampuh V Tunggal Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Dan Kekuatan Tarik Material Baja Ss400 Dengan Metode Pengelasan SMAW. *Nozel*, 02(November), 301–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/nozel.v2i4.42468>
- Arif, N., & Pranatal, E. (2022). Analisa Pengaruh Root Gap Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Metode Pengelasan FCAW Posisi 3G Pada Material Baja SS 400. *SEMITAN*, 1(1), 368–375. <https://doi.org/https://doi.org/10.31284/j.semitan.2022.3059>
- Ariyanto, & Noviati, T. (2025). Pengaruh jenis welding groove terhadap kekuatan impact plat baja astm a36 menggunakan mesin las smaw. *Ilmiah Teknik*, 4(1), 74–88.
- Azwinur, & Muhazir. (2019). Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan Smaw Terhadap Sifat Mekanik Material Baja SS400. *Polimesin*, 17, 19–25.
- Budianto, D. I., Junus, S., Triono, A., Sumarji, & Hardiantama, I. (2025). *Analisis Kekerasan, Kekuatan Tarik, Dan Metalografi Baja Astm A36 Dengan Pengelasan Mag Menggunakan Kampuh I, V, DAN ½ V*.
- Darsin, M., Mulyadi, S., Fitriani, T. F., Damastian, A. K., Jatisukamto, G., & Basuki, H. arbiantara. (2025). *Impact Strength , Microstructure , and Fractography of Titanium-PLA Filament in FDM 3D Printing Impact Strength , Microstructure , and Fractography of Titanium-PLA Filament in FDM 3D Printing*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3103/1/012032>
- Desmon, S. (2022). Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan , Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baja Jis Ss400 25 Desmon , Samuel ;

- Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 24–33.
- Dizdar, H., Aydemir, B., & Vatan, C. (2016). *Differences of Latest Versions of ISO 6892-1 and ASTM E8 Tensile Testing Standards*. 11–22.
- Fazadima, A., Pratikno, H., & Ikhwani, H. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Heat Input terhadap Uji Impact, Uji Metalografi, dan Laju Korosi pada Pengelasan SMAW Sambungan Pelat Baja A36 dengan Baja Structural Steel 400 (SS400). *Teknik ITS*, 11(3), 38–43.
- Gunawan, S., Karyadi, & Ulhakim, M. T. (2024). Analisis Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan Smaw Material Baja S45c. *Pendidikan Teknik Mesin Undhiska*, 12(2), 154–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jptm.v12i2.83515>
- Hamdi, I. (2020). Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi Dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja Ss400 Menggunakan Metode GMAW. *Ilmiah Teknik Mesin*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.33558/JITM.V8I1.1998>
- Kriswandi, M. G., Jatira, & Nugroho, H. (2022). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Smaw Dengan Material Baja Karbon Rendah Dengan Profil Besi Siku Menggunakan Elektroda E6013. *Teknologika*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.51132/teknologika.v12i1.155>
- Kurniawan, A. N., Suharto, & Widiastuti, I. (2018). The Effect Of Variations In The Shape Of The Seam On Microstructure , Hardness And Tensile Strength In The Welding Process Of Steel Ss400 With The SMAW Method. *JoMEVE*, 1(2), 75–80.
- Kurniawan, I., Budiarto, U., & Mulyanto, I. pujo. (2019). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Tempering. *Teknik Perkapalan*, 7(4), 313–322.
- Munawar, H. M., Gusniar, I. N., & Hanafi, R. (2023). *Pengaruh Jenis Elektroda Las Smaw Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Micro*. 11(1), 93–110.

<https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jptm.v1i11>

Perwira, D. A., & Prasetya, H. W. (2023). *Teknik Pengelasan SMAW*.

Poonnayom, P., Chantasri, S., Kaewwichit, J., & Roybang, W. (2015). Microstructure and Tensile Properties of SS400 Carbon Steel and SUS430 Stainless Steel Butt Joint by Gas Metal Arc Welding. *International Journal of Advanced Culture Technology*, 3(1), 61–67.

Pratama, R. Y., Basuki, M., & Pranatal, E. (2020). *Pengaruh variasi arus pengelasan smaw untuk posisi pengelasan 1g pada material baja kapal ss 400 terhadap cacat pengelasan*. 2(1), 203–209.

Purwanto, A., Wijoyo, & Riyadin, A. F. (2023). Pengaruh Polaritas Mesin Las Pada Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Baja Karbon Rendah. *Teknik Indonesia*, 2, 150–158.

Suherman, & Abdullah, I. (2020). *Teknik Penelasan Cara menghindari Cacat Las*.

LAMPIRAN

