



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISIS PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN GTAW PADA SAMBUNGAN *DISSIMILAR* PLAT SS 400 DAN SUS 316 TERHADAP KEKUATAN TARIK, TEKUK DAN IMPAK

Josua Putra Purmanto Saragih¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾, Untung Budiarto¹⁾

¹⁾ Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : josuaaputra@students.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini menyelidiki pengaruh kuat arus pada hasil pengelasan baja SS 400 dan SUS 316 dengan pengelasan GTAW. Pengelasan kedua material ini sering digunakan pada industri perkapalan terutama dalam konstruksi kapal karena baja SS 400 memiliki sifat ulet dan tangguh serta SUS 316 yang memiliki sifat tahan korosi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beda kuat arus 80 A, 100 A, dan 120 A terhadap ketahanan uji tarik, uji tekuk, dan uji impak. Penelitian ini mengadopsi metode eksperimental untuk menganalisis sambungan las pada baja SS400 dan SUS 316. Prosedur penelitian meliputi persiapan dan pemotongan plat baja, diikuti dengan proses pengelasan menggunakan variasi kuat arus listrik 80 A, 100 A, dan 120 A. Setelah spesimen disiapkan, dilakukan pengujian mekanis yang mencakup uji tarik, uji tekuk, dan uji impak. Hasil penelitian ini memberikan data yang relevan untuk meningkatkan kualitas mutu sambungan las kedua jenis baja tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat arus pengelasan secara signifikan memengaruhi sifat mekanis sambungan. Kuat arus 120 A menghasilkan nilai tertinggi pada uji tarik, dengan tegangan 444,92 MPa, regangan 32,36%, dan modulus 259,43 GPa, serta uji impak dengan nilai 0,937 J/mm², yang ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan ketahanan tinggi. Sementara itu, uji tekuk menunjukkan hasil berbeda, di mana kuat arus 100 A menghasilkan tegangan tekuk tertinggi sebesar 672,25 MPa, menunjukkan kekakuan material yang maksimal. Dengan demikian, pemilihan kuat arus optimal bergantung pada prioritas aplikasi. Arus 120 A ideal untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tarik dan ketahanan impak yang tinggi, sedangkan arus 100 A lebih efektif untuk mencapai kekakuan material yang maksimal.

Kata Kunci : Baja SS 400, Stainless Steel SUS 316, GTAW, Uji Tarik, Uji Tekuk, Uji Impak

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di sektor perkapalan yang terus maju membuat pengelasan menjadi elemen yang sangat penting dalam pembangunan konstruksi kapal. Secara umum, pengelasan merupakan sebuah metode untuk menyambungkan dua atau lebih logam dan paduannya [1].

Pengelas tak sejenis merupakan metode penyambungan logam yang memiliki perbedaan karakteristik, baik dari sisi fisik, mekanik, termal, maupun metalurgi [2]. Tujuan utama dari pengelasan ini adalah untuk menggabungkan

keunggulan dari material-material yang berbeda. Dengan cara ini, biaya material dapat ditekan dan keterbatasan sifat dari satu jenis material bisa diatasi [3]. Sebagai contoh, penyambungan antara baja tahan karat dan baja karbon rendah akan menghasilkan perbedaan pada struktur mikro dan sifat mekanik di area sambungan. Pengaplikasian pengelasan dissimilar ini sangat umum, terutama pada bejana tekan dan sistem perpipaan di kapal [4].

Baja karbon rendah seperti baja SS 400 dalam industri perkapalan sering dimanfaatkan untuk

konstruksi kapal karena karakteristiknya yang ulet dan kuat [5][6]. Baja SS 400 merupakan tipe baja karbon dengan kadar karbon yang rendah, yaitu di bawah 0,3%, serta mengandung sedikit silikon. Material ini menjadi komponen utama dalam pembuatan berbagai struktur kapal, termasuk bagian lambungnya [7].

Baja *stainless steel* SUS 316, jenis austenitik yang diperkaya molibdenum, memberinya ketahanan korosi yang unggul terutama terhadap pitting dan celah di lingkungan klorida dibandingkan dengan baja *stainless steel* lainnya. Komposisi utamanya mencakup sekitar 18% Kromium dan 8% Nikel [8]. Baja ini sangat populer di industri karena memiliki berbagai karakteristik unggul seperti ketahanan karat, daya tahan terhadap panas dan aus, kemampuan menahan suhu tinggi, densitas tinggi, serta kemudahan pembersihan dan tampilan yang mengkilap [9] [10].

Pengelasan GTAW merupakan metode yang sering digunakan dalam konstruksi dan berbagai sektor industri karena sifatnya yang praktis, mudah dioperasikan, fleksibel untuk berbagai posisi pengelasan, dan efisien dibanding dengan jenis pengelasan lainnya [11] [12]. Pengelasan GTAW merupakan metode yang sering digunakan dalam konstruksi dan berbagai sektor industri karena sifatnya yang praktis, mudah dioperasikan, fleksibel untuk berbagai posisi pengelasan, dan efisien [13] [14].

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan adalah kuat arus listrik (ampere). Apabila arus yang dipakai terlalu rendah, busur listrik akan sulit terbentuk dan tidak stabil [15] [16]. Panas yang dihasilkan tidak memadai untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar, sehingga menghasilkan sambungan las dengan riak-riak kecil, tidak rata, dan penetrasi yang dangkal. Sebaliknya, penggunaan arus yang terlalu tinggi akan menyebabkan elektroda mencair lebih cepat, menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dengan penetrasi yang sangat dalam. Hal ini berpotensi menurunkan kekuatan tarik dan meningkatkan kerapuhan pada hasil pengelasan. [17] [18].

Penelitian D. Pradana et al. Menganalisis dampak dari variasi kuat arus pengelasan GTAW pada sambungan antara plat baja SS 400 dan SUS 304, dengan fokus pada sifat mekanisnya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan hasil uji tarik menunjukkan bahwa spesimen dengan arus pengelasan 100 A memiliki kekuatan tarik tertinggi (25,59 kg/mm²) dan beban yield maksimum ($U_z = 61,24$ kgf/mm², $P_y = 31,38$ kN), disebabkan oleh tegangan sisa. Di area HAZ kekerasan lebih tinggi daripada logam induk karena terbentuknya butiran

yang lebih kecil. Menariknya, arus 80 A menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi daripada arus 100 A karena ukuran butiran ferit dan perlit yang lebih kecil [19].

Pada penelitian lainnya M. Mahbub et al. Menganalisis pengaruh masuknya panas terhadap distorsi dan sifat mekanik pada pengelasan baja AISI 304 dan baja SS 400 menggunakan metode GTAW (filler metal ER 309 L). Hasil penelitian Pengaruh masukan panas dalam pengelasan dapat dirangkum sebagai berikut. Penurunan masukan panas mengurangi distorsi; 0,99 mm pada masukan rendah (0,85 kJ/mm) dan 1,53 mm pada masukan tinggi (1,2 kJ/mm). Masukan panas meningkatkan kekerasan di HAZ dan garis fusi dibandingkan logam induk. Rata-rata kekuatan tarik adalah 538 MPa untuk masukan panas tinggi dan 532 MPa untuk rendah, dengan semua spesimen patah di baja karbon SS 400. Hasil ini menunjukkan pentingnya kontrol masukan panas untuk kualitas sambungan las yang optimal [20].

Penelitian ini memiliki tujuan utama untuk menganalisis dampak dari variasi kuat arus pengelasan GTAW terhadap sifat mekanis material. Secara spesifik, penelitian ini berfokus pada sambungan material baja karbon rendah SS 400 dan baja nirkarat SUS 316. Pengaruh dari variasi arus ini diukur melalui serangkaian pengujian, yaitu uji tarik, uji tekuk, dan uji dampak, untuk mengetahui sejauh mana perubahan arus mempengaruhi kekuatan material dengan uji tarik, uji tekuk, dan uji dampak. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam memilih material dan metode pengelasan yang sesuai untuk aplikasi di masa depan. Lebih lanjut, temuan ini diharapkan dapat mendorong dan memicu penelitian lanjutan yang lebih mendalam mengenai teknologi pengelasan, baik dalam konteks yang luas maupun secara spesifik.

2. Metode

2.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan ganda untuk memperoleh data yang relevan. Metode pertama adalah studi pustaka, yang melibatkan pengumpulan dan analisis informasi dari berbagai sumber sekunder yang kredibel, seperti buku-buku referensi, jurnal ilmiah terindeks, dan sumber daring yang relevan. Metode kedua adalah observasi langsung di lapangan, yang memungkinkan peneliti untuk mengamati dan mengumpulkan data secara langsung dari objek penelitian.

2.1.1 Material

Fokus utama dari penelitian ini adalah baja SS 400 dan *stainless steel* SUS 316. Dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Baja SS 400 [19]

Unsur	Kandungan (%)
<i>Ferrum</i> (Fe)	99,76
<i>Carbon</i> (C)	0,044
<i>Silikon</i> (Si)	0,004
<i>Mangan</i> (Mn)	0,161
<i>Phosphorus</i> (P)	0,008
<i>Sulfur</i> (S)	0,006
<i>Chromium</i> (Cr)	0,016

Analisis komposisi kimia menunjukkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah yang memenuhi spesifikasi baja SS 400. Pada Tabel 1 komponen utamanya adalah besi (Fe) dengan kadar mencapai 99,76%. Selain itu, material ini diperkaya dengan unsur paduan yang berperan penting dalam meningkatkan sifat mekanisnya. Kandungan mangan (Mn) sebesar 0,161% berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Sementara itu, silikon (Si) sebesar 0,004% berkontribusi pada ketahanan terhadap panas, korosi, dan performa material secara keseluruhan. Unsur-unsur lain seperti karbon (C) 0,044% dan krom (Cr) 0,016% juga ditemukan, yang semakin melengkapi karakteristik material ini [19].

Tabel 2. Komposisi *Stainless Steel* SUS 316 [8]

Unsur	Kandungan (%)
<i>Nikel</i> (Ni)	10
<i>Carbon</i> (C)	0,08
<i>Silikon</i> (Si)	0,70
<i>Mangan</i> (Mn)	1,00
<i>Silikon</i> (Si)	0,75
<i>Phosphorus</i> (P)	0,045
<i>Sulfur</i> (S)	0,03
<i>Chromium</i> (Cr)	17

Pada Table 2 baja tahan karat terdiri atas paduan besi yang memiliki kandungan kromium (Cr) lebih dari 11%. Khususnya, jenis SUS 316 memiliki kandungan karbon yang rendah, serta perpaduan nikel dan kromium yang memberinya ketahanan superior terhadap korosi. Baja ini sangat efektif dalam mencegah korosi sumuran dan korosi celah, terutama di lingkungan yang kaya klorida. Komposisinya, dengan sekitar 10% nikel dan 16% kromium, menjadikannya sangat tahan karat. Kandungan nikel yang tinggi juga berperan dalam menahan korosi tegangan. Selain itu, penambahan unsur molibdenum dan tembaga pada SUS 316 semakin meningkatkan daya tahannya terhadap

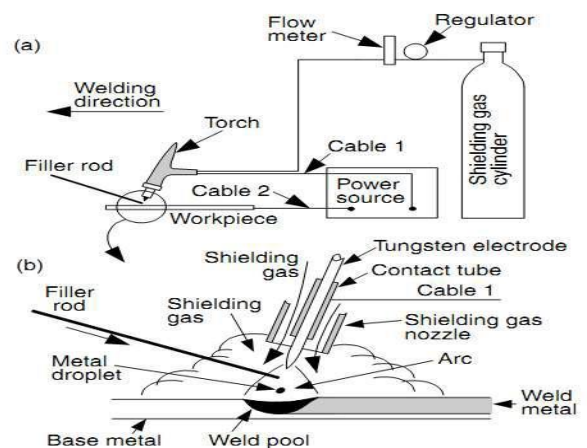
berbagai jenis korosi, sementara kandungan karbon yang rendah berfungsi untuk mencegah korosi antar butir [8].

2.1.2 Pengelasan

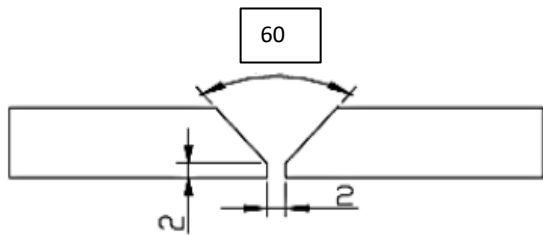
Pengelasan GTAW adalah proses penyambungan material yang memanfaatkan panas dari busur listrik antara elektroda tungsten dan benda kerja. Gas inert (seperti argon) dialirkan sebagai pelindung untuk mencegah kontaminasi udara. Keunggulan metode ini adalah minimnya asap, yang mempermudah pengamatan oleh operator. Untuk pengelasan baja karbon paduan rendah, gas pelindung CO₂ dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis karena memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan gas argon murni atau campurannya [13].

Gambar 1. Skema Pengelasan GTAW [13]

Pada Gambar 1 pembuatan struktur las



mencakup proses pemotongan material, pembentukan, dan penyambungan. Setiap area yang disambung disebut sambungan. Untuk mendapatkan kekuatan tarik maksimal, sambungan kampuh V tunggal dipilih karena dinilai lebih efektif dalam menahan tegangan dibandingkan jenis sambungan lain. Salah satu contoh sambungan kampuh V terbuka digunakan untuk menyambungkan plat dengan ketebalan 6-15 mm, dengan sudut kampuh 60-90 derajat, jarak akar 2 mm, dan tinggi akar 1-2 mm. Dalam penelitian ini, jenis sambungan yang dipakai adalah Butt Joint dengan variasi single V-butt joint, menggunakan sudut kampuh 60 derajat, jarak akar 1,6–3,2 mm, dan tinggi akar 1 mm dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 2 dibawah ini [16]:



Gambar 2. Single V Butt Joint 60° [10]

Posisi 3G Posisi pengelasan tegak (*vertical position*) adalah teknik pengelasan yang dilakukan dengan arah mengikuti garis vertikal. Dalam posisi ini, benda kerja biasanya berdiri tegak atau sedikit miring sejalan dengan gerakan elektroda las, baik ke atas maupun ke bawah [24].

2.1.3 Pengujian Mekanis

Pengujian mekanis adalah proses untuk mengevaluasi bagaimana material bereaksi terhadap gaya atau beban eksternal. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan sifat-sifat fisik seperti kekuatan, kekerasan, kekakuan, dan ketangguhan material. Pada pengujian ini pengujian mekanis meliputi uji tarik, uji tekuk, dan uji impak.

Uji tarik dilakukan untuk mengumpulkan informasi dasar mengenai kekuatan suatu material dan menjadi data pendukung yang penting dalam merancang produk. Berikut adalah karakteristik material yang dapat diperoleh dari hasil pengujian tarik [2] [17].

Tegangan tarik adalah tingkat tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh suatu material sebelum akhirnya mengalami kegagalan atau patah (*fracture*). Kekuatan tarik maksimal suatu material dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan 1 [13]:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Dimana σ adalah tegangan tarik maksimum (MPa), P adalah beban Maksimum (N), dan A_0 adalah Luas pada penampang awalan dengan satuan (mm²), luas penampang diambil dari nilai lebar dan ketebalan pada spesimen.

Regangan tarik maksimum adalah nilai penambahan panjang tertinggi yang dialami oleh suatu material saat diuji tarik. Regangan ini menunjukkan seberapa besar material bertambah panjang dibandingkan ukuran aslinya dan dapat dihitung dengan persamaan 2 [24]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\varepsilon = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana ε adalah regangan maksimum (%), L_i adalah suatu panjang pada spesimen sesudah patahan (mm), dan L_0 adalah panjang awal (mm).

Modulus elastisitas adalah sebuah parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat kekakuan suatu material. Semakin tinggi nilai modulus ini, semakin kecil pula regangan elastis yang terjadi pada material tersebut ketika diberi beban tertentu. Dengan kata lain, material dengan modulus yang lebih tinggi akan terasa lebih kaku (*stiff*). Nilai modulus kekakuan ini dapat dihitung dari kemiringan garis lurus pada bagian elastis kurva tegangan-regangan [24]:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Dimana E adalah Modulus elastisitas dengan satuan (GPa), σ adalah nilai dari tegangan tarik maksimum (MPa), dan ε adalah nilai regangan pada spesimen uji dengan satuan (%).

Uji Tekuk, yang juga dikenal sebagai bending test, adalah pengukuran kekuatan material dalam menahan beban serta elastisitas dari hasil penyambungan las, baik pada logam lasan maupun pada zona yang terpengaruh panas. Uji ini juga berfungsi sebagai metode untuk mengevaluasi kualitas suatu material secara visual [12]. Berikut adalah rumusan untuk pengujian tekuk pada persamaan 5:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (5)$$

Dimana σ_b besar Tegangan Tekuk dengan satuan (Mpa), P beban yang diberikan pada titik tengah (N), L Panjang span (mm), d lebar penampang benda uji (mm), dan b tebal penampang benda uji (mm).

Pengujian Impak adalah suatu metode untuk mengukur kekuatan suatu bahan dengan memberikan beban gaya yang terarah. Tujuan dari uji impak adalah untuk mengukur kemampuan suatu spesimen dalam menyerap energi dari beban kejut. Proses pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin khusus yang dilengkapi pendulum berbobot, yang diayunkan dari ketinggian tertentu untuk menghasilkan beban keju. Perhitungan nilai dari ketangguhan impak dapat menggunakan persamaan 6 [25]:

$$T = \frac{E}{A} \quad (6)$$

Dimana T adalah ketangguhan pada spesimen uji impak dengan satuan (J/mm^2), E adalah energi dari hasil pengujian impak yang diserap dalam satuan (J), dan A adalah luas penampang dengan nilai perkalian dari lebar dan tebal masing – masing spesimen sebelum dilakukan pengujian, dengan satuan (mm^2).

2.2 Prosedur Penelitian

Pembuatan spesimen dimulai dengan melakukan pemotongan lembaran baja SS 400 dan SUS 316 yang akan digunakan sebagai spesimen uji. Lembaran aluminium dipotong menggunakan gerinda sesuai dengan kebutuhan. Dimensi lembaran baja SS 400 dan SUS 316 yang digunakan adalah $200\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ sedangkan untuk uji impak dimensi yang digunakan adalah $200\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ dengan menggunakan kampuh V dengan sudut 60° .

Sesudah plat baja dibentuk kampuh kemudian dilakukan pengelasan dengan jenis las GTAW dengan menggunakan mesin las TIG Daiden 200. Dalam proses ini, elektroda tungsten murni digunakan untuk menghasilkan busur, sementara kawat pengisi (*filler metal*) ER 309 dengan diameter 2.4 mm ditambahkan secara terpisah. Pengelasan dilakukan pada posisi 3G (vertikal), menggunakan sambungan Single V Butt Joint dengan sudut kampuh 60° . Polaritas yang digunakan adalah DC+. Parameter pengelasan diatur pada tiga variasi kuat arus (*ampere*) yang berbeda: 80 A, 100 A, dan 120 A. Tegangan (*voltage*) dipertahankan konstan pada 12 V, dengan kecepatan las (*travel speed*) sebesar 6 cm/menit (60 mm/menit).

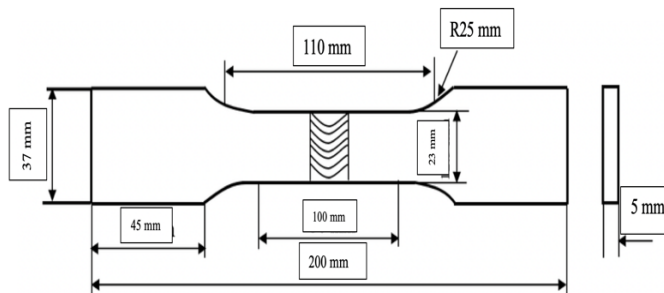
Pada penelitian ini, pengelasan dan pembuatan spesimen dilakukan di PLN Semarang Untuk lokasi uji tarik, uji tekuk, maupun uji impak dilakukan di Laboratorium Material Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.

Parameter tetap terdiri dari jenis pengelasan yaitu GTAW, jenis baja yang digunakan yaitu baja SS 400 dan *stainless steel* SUS 316 serta elektroda las yang digunakan yaitu elektroda ER 309, dengan dimensi ukurannya pada tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Ukuran Spesimen Uji Tarik ISO 4136

Keterangan	Ukuran (mm)
Length (L)	200
Weld Width (Ls)	20
Gage length (Lc)	110
Length of Reduced Section	100
Width (b)	23

Width of grid section (b_1)	37
Thickness (T)	5
Radius of fillet (J)	25

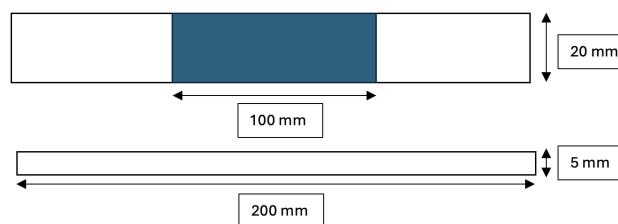


Gambar 3. Dimensi Spesimen Uji Tarik ISO 4136

Gambar 3 menunjukkan tentang ukuran dimensi spesimen pengujian tarik berdasarkan standar ISO 4136 panjang *Gauge Length* (G) sebesar 110 mm, dimensi *Width* (W) sebesar 23 mm dan lebar area cekam sekitar 37 mm. Bagian tengah batang uji yang memiliki tegangan seragam, sering disebut sebagai panjang ukur, merupakan area utama yang menerima pembebanan. Bagian inilah yang menjadi fokus dalam pengukuran deformasi dan analisis sifat mekanis material selama pengujian dan selalu diukur panjangnya selama proses pengujian [20].

Tabel 4. Ukuran Spesimen Uji Tekuk ISO 5173

Keterangan	Ukuran (mm)
Overall Length (L)	200
Width (W)	20
Thickness (T)	5

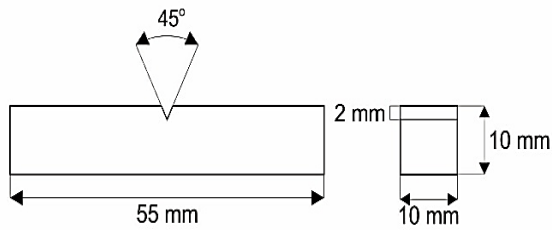


Gambar 4. Dimensi Spesimen Uji Tekuk ISO 5173

Gambar 4 menunjukkan ukuran dimensi pengujian tekuk berdasarkan standar ISO 5173 dengan ukuran panjang 200 mm, lebar 20 mm dan ketebalan material sebesar 5 mm [22].

Tabel 5. Ukuran Spesimen Uji Impak ISO 148-1

Keterangan	Ukuran (mm)
Overall Length (L)	55
Width (W)	10
Thickness (T)	10



Gambar 5. Dimensi Spesimen Uji Impak ISO 148-1

Gambar 5 menunjukkan ukuran dimensi pengujian impak berdasarkan standar ISO 148-1 dengan ukuran Panjang 55 mm, lebar 10 mm dan ketebalan material sebesar 10 mm

Adapun parameter tidak tetap pada penelitian ini adalah kuat arus pengelasan, uji tarik, uji tekuk dan uji impak.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan proses pengelasan terhadap baja SS 400 menggunakan pengelasan GTAW dengan perlakuan variasi kuat arus listrik pengelasan. Kuat arus yang digunakan yaitu 80 A, 100 A dan 120 A. Kemudian dilakukan uji kekuatan tarik, kekuatan tekuk dan kekuatan impak.

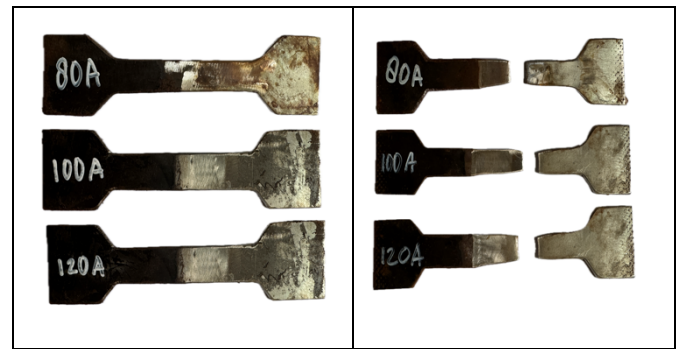
Pembersihan dan pembentukan material merupakan tahap krusial sebelum pengelasan. Material harus di gerinda untuk menghilangkan kotoran dan meratakan permukaannya. Setelah itu, lembaran pelat aluminium yang telah dipotong kemudian dibentuk dengan sudut kampuh V single butt joint sebesar 60 derajat. Proses pengelasan selanjutnya dilakukan menggunakan metode GTAW dilakukan di PLN Semarang dengan :
Heat Input

$$\begin{aligned} \text{- Heat Input} &= \frac{\text{Voltage} \times \text{Ampere} \times 60}{\text{travel speed} \left(\frac{\text{mm}}{\text{menit}}\right)} \\ \text{- HI 80 A} &= \frac{60 \times 24 \times 80}{140 \text{ mm/menit}} = 822,857 \text{ joule/mm} \\ \text{- HI 100A} &= \frac{60 \times 24 \times 100}{140 \text{ mm/menit}} = 1028,57 \text{ joule/mm} \\ \text{- HI 120A} &= \frac{60 \times 24 \times 120}{140 \text{ mm/menit}} = 1234,28 \text{ joule/mm} \end{aligned}$$

3.1 Hasil Uji Tarik

Pengujian tarik baja karbon rendah SS 400 dan stainless steel SUS 316 ini mengacu pada standar ISO 4136, pengujian dilakukan pada setiap diulang sebanyak 5 kali pada setiap variasi arus yang berbeda, dimana masing-masing. Hasil pengujian dapat dilihat pada komputer berupa tabel dan grafik. Spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 6 :

:



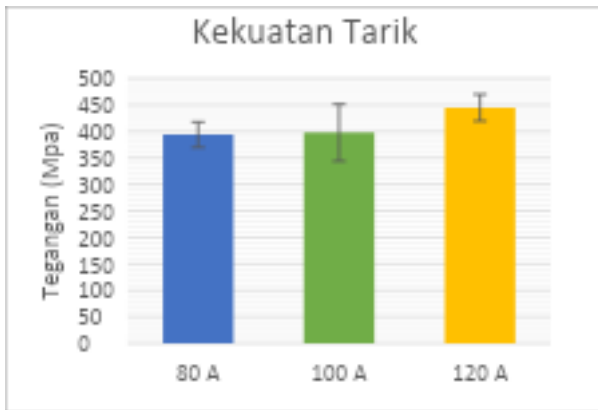
Gambar 6. Spesimen Uji Tarik

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata tegangan tarik sebagai berikut:

Tabel 6. Nilai Tegangan Tarik

Spesimen	No	Area (mm ²)	P Max (kN)	σ Max (Mpa)	Standar Deviasi	σ Rata-Rata (Mpa)
80 A	1	115	39,9	345,95	23,96	393,91
	2	115	45,7	397,39		
	3	115	44,5	386,95		
	4	115	45,7	397,39		
	5	115	39,6	344,34		
100 A	1	115	44,0	382,60	53,68	397,82
	2	115	47,7	414,78		
	3	115	45,5	395,65		
	4	115	30,6	266,08		
	5	115	45,8	398,26		
120 A	1	115	50,8	441,73	25,1	444,92
	2	115	47,6	413,91		
	3	115	48,6	422,60		
	4	115	54,9	477,93		
	5	115	54,1	470,43		

Berdasarkan Tabel 6 untuk spesimen material 1 dan 5 dengan kuat arus 80 A memiliki nilai tegangan tarik yang kurang dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 1 dan 5 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 4 dengan kuat arus 100 A memiliki nilai tegangan tarik yang kurang dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 4 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 2 dengan kuat arus 120 A memiliki nilai tegangan tarik yang kurang dari standar deviasi dan material 4 memiliki nilai tegangan tarik lebih dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 2 dan 4 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan.



Gambar 7. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Pada Gambar 7 analisis grafik yang telah dilakukan, tegangan tarik rata-rata tertinggi tercatat pada spesimen yang dilas dengan kuat arus 120 A, dengan nilai mencapai 444,92 MPa. Angka ini mengindikasikan bahwa penggunaan arus yang lebih tinggi dapat mengoptimalkan kekuatan material secara signifikan. Selanjutnya, spesimen dengan kuat arus 100 A memiliki tegangan tarik sebesar 397,82 MPa. Di sisi lain, tegangan tarik rata-rata terendah ditemukan pada spesimen yang dilas dengan kuat arus 80 A, yaitu 393,82 MPa.

Dari hasil penelitian tersebut kuat arus yang lebih tinggi akan mencairkan lebih banyak material dasar dan kawat las. Ini menghasilkan fusi yang lebih baik dan penetrasi yang lebih dalam, sehingga membuat sambungan las lebih padat dan homogen. Panas yang cukup dari kuat arus tinggi dapat menghasilkan pendinginan yang lebih lambat di zona las, yang dapat membentuk butir-butir yang lebih halus pada struktur mikro. Struktur butir yang lebih halus umumnya meningkatkan keuletan dan kemampuan material untuk menahan deformasi plastis sebelum patah, yang mana ini tercermin dari nilai tegangan tarik yang lebih tinggi. Secara umum, hubungan antara besar kuat arus pengelasan dengan tegangan tarik pada material hasil las adalah berbanding lurus hingga mencapai titik optimal, bahwa peningkatan kuat arus cenderung menghasilkan nilai tegangan tarik rata-rata yang lebih tinggi, yang menunjukkan adanya korelasi positif antara parameter pengelasan ini dan kekuatan material [5].

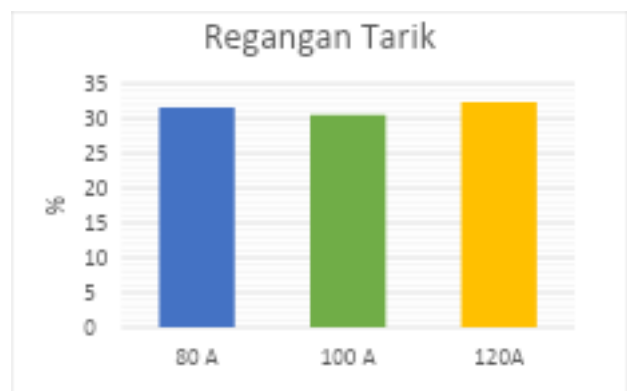
Pada hasil pengujian D. Pradana et al. Variasi kuat arus pengelasan berpengaruh pada daya tarik material. Nilai rata-rata uji tarik tertinggi dihasilkan pada variasi arus 100 A sebesar 61,24 kg/mm² dibandingkan dengan variasi 80 A dengan 60,60 kg/mm². Secara umum, hubungan antara besar kuat arus pengelasan dengan tegangan tarik pada material hasil las adalah berbanding lurus hingga mencapai titik optimal, bahwa peningkatan

kuat arus cenderung menghasilkan nilai tegangan tarik rata-rata yang lebih tinggi, yang menunjukkan adanya korelasi positif antara parameter pengelasan ini dan kekuatan material [19].

Setelah baja karbon rendah SS 400 dan stainless steel SUS 316 dilas menggunakan metode GTAW, nilai regangan tarik maksimum dapat ditentukan dari hasil pengujian. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, ditemukan rata-rata nilai regangan tarik sebagai berikut :

Tabel 7. Nilai Regangan Tarik

Spesimen	No	ΔL (mm)	L_0 (mm)	e Regangan (%)	e Rata-Rata (%)
80 A	2	32,3	100	32,3	31,60
	3	30,2	100	30,2	
	4	32,3	100	32,3	
100 A	1	30,2	100	30,2	30,50
	2	31,4	100	31,4	
	3	29,7	100	29,7	
	5	30,7	100	30,7	
120 A	1	33,4	100	33,4	32,36
	3	31,8	100	31,8	
	5	31,9	100	31,9	



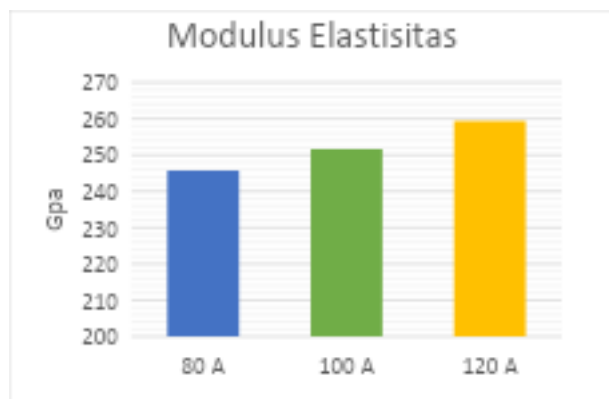
Gambar 8. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Pada Gambar 8 analisis grafik yang telah dilakukan, regangan tarik rata-rata tertinggi tercatat pada spesimen yang menggunakan kuat arus pengelasan 120 A, dengan nilai mencapai 32,36%. Angka ini menunjukkan peningkatan deformasi elastis yang signifikan sebelum material mengalami patah. Nilai ini diikuti oleh spesimen yang dilas dengan kuat arus 80 A, yang memiliki regangan tarik sebesar 31,60%. Di sisi lain, regangan tarik rata-rata terendah ditemukan pada spesimen dengan kuat arus 100 A, yaitu sebesar 30,50%. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa variasi kuat arus pengelasan memiliki pengaruh terhadap regangan tarik material. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa penggunaan kuat

arus yang lebih tinggi, seperti pada 120 A, cenderung meningkatkan nilai regangan tarik material. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penyesuaian parameter arus, sifat daktilitas material pasca-pengelasan dapat dioptimalkan. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata nilai modulus elastisitas pada Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Modulus Elastisitas

Spesimen	No	σ (Mpa)	ϵ Regangan (%)	E (GPa)	E Rata-Rata (GPa)
80 A	2	265,3	0,10	265,3	245,75
	3	269,2	0,11	244,7	
	4	272,7	0,12	227,2	
100 A	1	270,6	0,11	246,0	251,57
	2	308,3	0,12	256,9	
	3	296,9	0,11	269,9	
	5	303,5	0,13	233,4	
120 A	1	324,0	0,13	249,2	259,43
	3	315,5	0,12	262,9	
	5	346,0	0,13	266,2	

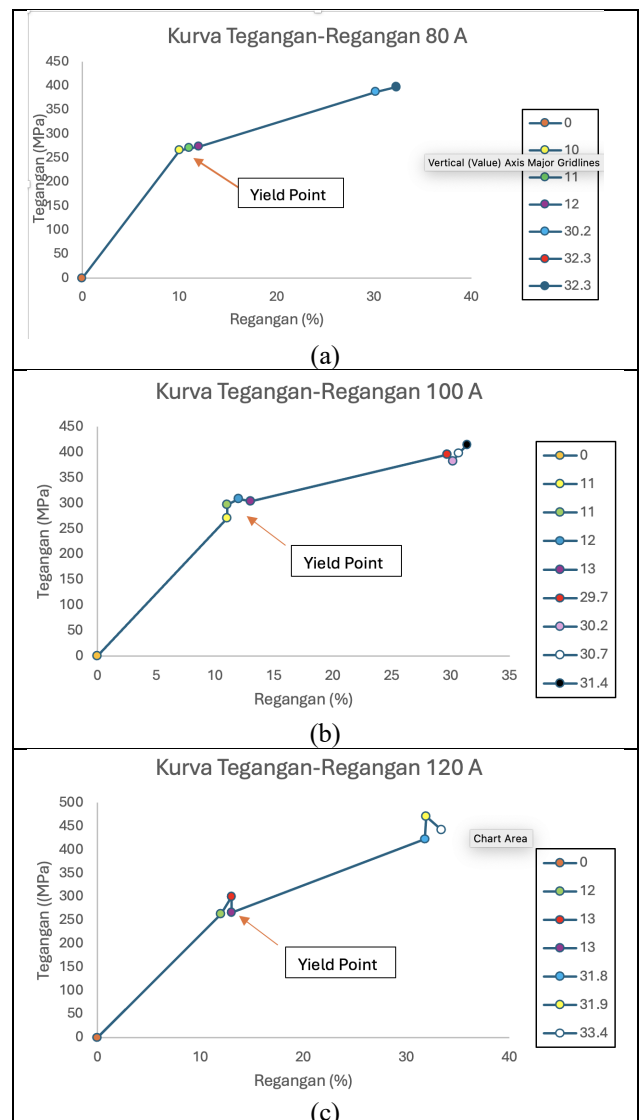


Gambar 9. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Pada Gambar 9 analisis grafik, spesimen yang dilas dengan kuat arus 120 A menunjukkan nilai modulus elastisitas rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 61,98 GPa. Nilai ini mengindikasikan ketahanan deformasi elastis yang optimal. Selanjutnya, spesimen dengan kuat arus 100 A memiliki nilai yang relatif tinggi, yaitu 57,24 GPa. Sebaliknya, nilai modulus elastisitas terendah tercatat pada spesimen dengan kuat arus 100 A, dengan nilai 54,38 GPa. Penurunan ini menunjukkan adanya korelasi negatif antara kuat arus pengelasan dan modulus elastisitas.

Dari pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlakuan arus listrik pengelasan berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas material. Hasil pengujian mengindikasikan bahwa modulus elastisitas

material cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kuat arus listrik, khususnya pada arus tinggi seperti penggunaan arus 120 A.

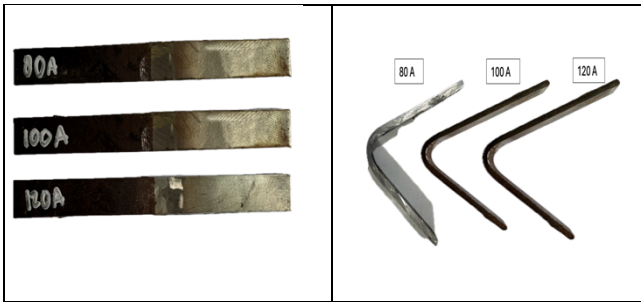


Gambar 10 (a). Kurva Tegangan-Regangan 80 A
 Gambar 10 (b). Kurva Tegangan-Regangan 100 A
 Gambar 10 (c). Kurva Tegangan-Regangan 120 A

Pada Gambar 10 (a) menunjukkan kurva tegangan-regangan 80 A dengan tegangan maksimal dihasilkan saat regangan 32,3 % sebesar 397,39 MPa. Selanjutnya pada Gambar 10 (b) menunjukkan kurva tegangan-regangan 100 A dengan tegangan maksimal dihasilkan saat regangan 31,4 % sebesar 414,78 MPa, dan pada Gambar 10 (c) menunjukkan kurva tegangan-regangan 120 A dengan tegangan maksimal dihasilkan saat regangan 31,9 % sebesar 470,43 MPa. Ketangguhan maksimal material baja SS 400 dan SUS 316 dengan nilai tegangan terbesar pada variasi arus 120 A.

3.2 Hasil Uji Tekuk

Pengujian tekuk pada baja karbon rendah SS 400 dan baja nirkarat SUS 316 dilakukan dengan berpedoman pada standar ISO 5173. Prosedur ini melibatkan 15 spesimen dengan dimensi pengujian yang sama. Data yang diperoleh dari hasil pengujian, berupa tabel dan grafik, dapat diamati secara langsung melalui komputer. Spesimen uji tekuk dapat dilihat pada Gambar 11 :



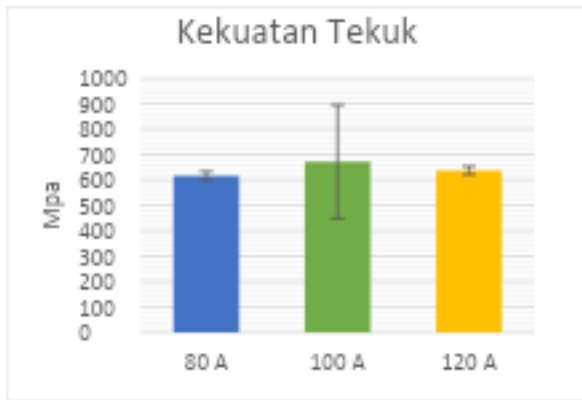
Gambar 11. Spesimen Uji Tekuk

Berdasarkan serangkaian pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh nilai rata-rata tegangan tekuk sebagai berikut dengan panjang span 100 mm, lebar 20 mm, dan tebal 5 mm:

Tabel 9. Nilai Tegangan Tekuk

Spesimen	No	P (kN)	σ_b (Mpa)	Standar Deviasi	σ_b Rata-rata (Mpa)
80 A	1	8,46	634,50	16,93	616,50
	2	7,85	588,75		
	3	8,32	624,00		
	4	7,95	596,25		
	5	8,15	611,25		
100 A	1	8,77	657,75	223,46	672,25
	2	9,09	681,75		
	3	3,57	267,75		
	4	2,31	173,25		
	5	9,03	677,25		
120 A	1	8,17	612,75	16,11	637,75
	2	8,72	654,00		
	3	8,67	650,25		
	4	8,29	621,75		
	5	8,55	641,25		

Berdasarkan Tabel 9 untuk spesimen material 2 dengan kuat arus 80 A memiliki nilai kekuatan tekuk yang kurang dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 2 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 3 dan 4 dengan kuat arus 100 A memiliki nilai kekuatan tekuk yang kurang dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 3 dan 4 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 1 dengan kuat arus 120 A memiliki nilai kekuatan tekuk yang kurang dari standar deviasi dan material 2 memiliki nilai kekuatan tekuk lebih dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 1 dan 2 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan.



Gambar 12. Grafik Rata-rata Tegangan Tekuk

Pada Gambar 12 grafik, spesimen dengan kuat arus pengelasan 100 A mencatat tegangan tekuk rata-rata tertinggi sebesar 672,25 MPa. Nilai ini diikuti oleh spesimen dengan kuat arus 120 A, yang mencapai 637,75 MPa. Sebaliknya, tegangan tekuk rata-rata terendah tercatat pada spesimen dengan kuat arus 80 A, yaitu sebesar 616,50 MPa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan kuat arus 100 A memiliki kekuatan tekuk yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi arus 80 A dan 120 A.

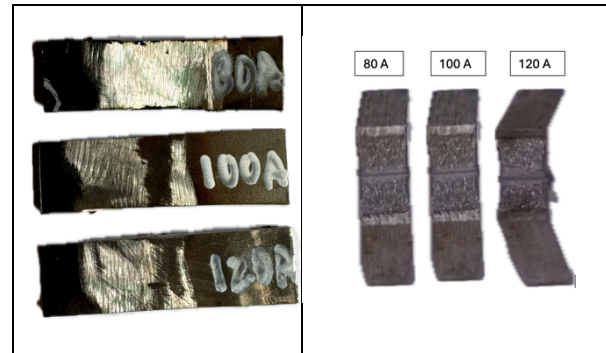
Dari hasil pengujian ini hubungan antara kuat arus pengelasan dan kekuatan tekuk pada sambungan las tidak selamanya linier. Ada titik arus optimal di mana kekuatan tekuknya akan maksimal. Jika arus terlalu rendah atau terlalu tinggi, kekuatan tekuk justru akan menurun. Panas yang berlebihan menyebabkan peleburan yang berlebihan atau overheating. Hal ini dapat merusak struktur mikro material, menyebabkan butiran kristal membesar di area las dan HAZ. Butiran yang lebih besar membuat material getas dan rentan terhadap retak saat ditekuk, sehingga kekuatan tekuknya menurun drastis [24].

Pada penelitian sebelumnya W.S. Chandra et al. Menunjukkan bahwa hubungan kuat arus pengelasan dengan tegangan tekuk linear. Nilai tegangan tekuk tertinggi terdapat pada kuat arus 140 A sebesar 649,76 Mpa dibandingkan dengan kuat arus 100 A dan 120 A sebesar 634,97 MPa dan 602,44 Mpa. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus sebanding dengan nilai tegangan tekuk material [6].

3.3 Hasil Uji Impak

Proses pengujian impak dimulai dengan menyiapkan spesimen sesuai standar ISO 148-1, yang melibatkan pembuatan takikan pada spesimen. Prosedur ini melibatkan 15 spesimen dengan dimensi pengujian yang sama. Data yang diperoleh dari hasil pengujian, berupa tabel.

Spesimen uji impak dapat dilihat pada Gambar 13 :



Gambar 13. Spesimen Uji Impak

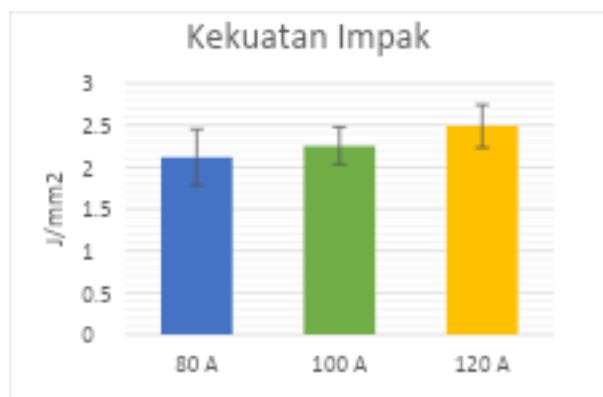
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata tegangan tekuk sebagai berikut:

Tabel 10. Nilai Tegangan Impak

Spesimen	No	Energ i Impak (J)	Kuat Impak (J/mm ²)	Standar Deviasi	Rata-rata Kuat Impak (Mpa)
80 A	1	64	0,80	0,12	0,855
	2	60	0,75		
	3	67	0,83		
	4	63	0,78		
	5	88	1,1		
100 A	1	64	0,80	0,08	0,865
	2	62	0,77		
	3	71	0,88		
	4	68	0,85		
	5	81	1,01		
120 A	1	69	0,86	0,09	0,937
	2	81	1,01		
	3	74	0,92		
	4	86	1,07		
	5	65	0,81		

Berdasarkan Tabel 10 untuk spesimen material 5 dengan kuat arus 80 A memiliki nilai tegangan impak yang lebih dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 5 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 2 dengan kuat arus 100 A memiliki nilai tegangan impak yang kurang dari standar deviasi dan material 5 memiliki nilai tegangan impak lebih dari standar deviasi sehingga menyebabkan material 2 dan 5 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan. Pada material 4 dengan kuat arus 120 A memiliki nilai tegangan impak yang lebih dari standar deviasi dan material 5 memiliki nilai tegangan impak yang kurang dari standar deviasi sehingga

menyebabkan material 4 dan 5 tidak dapat dimasukkan dalam perhitungan.



Gambar 14. Grafik Rata-rata Impak

Berdasarkan pada Gambar 14 grafik hasil pengujian, spesimen yang dilas dengan kuat arus 120 A menunjukkan nilai kuat impact rata-rata maksimum, yaitu sebesar 0,937 J/mm². Nilai ini mengindikasikan ketahanan material yang paling baik terhadap beban kejut. Angka ini diikuti oleh spesimen dengan kuat arus 100 A, yang mencatat kuat impact sebesar 0,865 J/mm². Di sisi lain, nilai kuat impact rata-rata terendah tercatat pada spesimen dengan kuat arus 80 A, dengan nilai sebesar 0,855 J/mm².

Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hubungan kuat arus pengelasan dengan kekuatan impact linear. Nilai tegangan tekuk tertinggi terdapat pada kuat arus 150 A sebesar 0,95 J/mm² dibandingkan dengan kuat arus 100 A dan 125 A sebesar 0,62 J/mm² dan 0,81 J/mm². Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus sebanding dengan nilai tegangan tekuk material [18].

Pada hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pada arus yang tepat, masukan panas terkontrol. Ini memungkinkan penetrasi yang dalam dan fusi yang sempurna, menghasilkan struktur mikro yang baik di area lasan dan zona yang terpengaruh panas HAZ. Sambungan las yang dihasilkan padat, homogen, dan bebas dari cacat besar, sehingga mampu menyerap energi impact secara efektif dan memiliki ketangguhan tertinggi. Apabila pemberian panas berlebih menyebabkan butir-butir kristal di HAZ dan logam las membesar secara tidak terkontrol. Butiran yang lebih besar membuat material menjadi getas. Pada spesimen dengan kuat arus 120 A memiliki kuat impact yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen yang dilas menggunakan variasi arus yang lebih kecil. Temuan ini mengarahkan pada kesimpulan bahwa peningkatan kuat arus listrik pengelasan dapat berperan dalam mengoptimalkan kuat impact

material yang diuji, sehingga meningkatkan ketahanan material terhadap beban kejut [25].

4. Kesimpulan

Data-data dari hasil pengujian baja SS 400 dan stainless steel SUS 316 dengan variasi kuat arus listrik 80 A, 100 A, 120 A, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi kuat arus pengelasan memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanis material. Peningkatan kuat arus pengelasan secara konsisten meningkatkan tegangan tarik, modulus elastisitas, regangan tarik, dan kuat impact. Secara spesifik, kuat arus 120 A menghasilkan nilai tertinggi untuk tegangan tarik rata-rata (444,92 MPa), modulus elastisitas rata-rata (259,43 GPa), regangan tarik rata-rata (32,36%), dan kuat impact rata-rata (0,937 J/mm²). Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus dapat mengoptimalkan kekuatan, ketangguhan, dan daktilitas material. Berbeda dengan hasil uji tarik, peningkatan kuat arus tidak secara konsisten meningkatkan kekuatan tekuk material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat arus pengelasan 100 A menghasilkan tegangan tekuk rata-rata tertinggi, yaitu 672,25 MPa. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan kuat arus 120 A (637,75 MPa) dan 80 A (616,50 MPa). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kuat arus 100A adalah yang paling efektif dalam mengoptimalkan kekuatan tekuk material, dan peningkatan arus listrik cenderung menurunkan kekakuan material.

Pada kuat arus 120 A secara konsisten meningkatkan sifat mekanis material dikarenakan heat input yang menjadi parameter kendali sangat penting dalam pengelasan untuk mengontrol siklus termal pengelasan sehingga menghasilkan kombinasi sifat mekanis yang terbaik. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus dapat mengoptimalkan kekuatan, ketangguhan, dan daktilitas material, sedangkan arus 100 A untuk aplikasi yang membutuhkan kekakuan material yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Rudi Siswanto, Buku Ajar Teknologi Pengelasan (HMKB791), 2018.
- [2] B. T. B. Petrus Heru Sudargo, "Pengaruh *Filler* dan Arus Listrik Pengelasan Logam Tak Sejenis Baja (AISI 1045) dengan Baja Tahan Karat (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro," *Jurusan Teknik Mesin, Akademi Teknologi*

- Warga Surakarta, ISBN 978-602-99334-7-5, 2017.*
- [3] T. Y. D. Budi Haryanto, “Analisis Pengaruh Elektroda E309-16 Pada Sambungan Baja Carbon Aisi 1045 Dan Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Pengelasan Smaw Authors,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan (JITT) Volume 01, Nomor 1, , 2023.*
- [4] A. M. Eddy Gunawan, “Analysis of the Effect of Current Flow Variations in GTAW on SS 400 Plate Material Connected with SUS 304 Stainless Steel Plate Against Tensile Strength and Hardness with ER308L Electrode,” *OP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1175 (2019) 012277, 2019.*
- [5] I. M. N. & S. K.Pamungkas, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon SS 400” *JURNAL MER-C NO.2/VOL.2, 2019.*
- [6] U. B. ., W. S. Chandra Wijaya Panggabeh, Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW(Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400, Semarang: Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 9, No.4, 2021.
- [7] U. B. Nanda Julian, ”Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MIG Dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal,” *Jurnal Teknik Perkapalan, Vol.7 No.4. 2019*
- [8] M. D. R. B. K. A.Zulfikar Syaiful, “ANALISIS LAJU KOROSI DAN LIFETIME MATERIAL STAINLESS STEEL,” *Jurnal Fakultas Teknik UNIBOS Vol. 1, No.1, 2022.*
- [9] I. G Muhammad Al Fattah, “Analisis laju stainless steel 316 di media air laut menggunakan metode elektrokimia,” *Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM) Vol. 1, No. 2. 2022*
- [10] A. S. Hamdani, A. S, “Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi GTAW dan SMAW Terhadap Sifat Mekanik pada Carbon Steel A53 GR,”. *Jurnal Teknologi, Vol. 22, No.2. 2022*
- [11] S. Weiss, AWS Welding Handbook Seventh Edition Vol.1, American Welding Society, 2004.
- [12] A. O'Brien, Welding Handbook Ninth Edition Vol.2, American Welding Society, 2004.
- [13] J. S. Z. Juwandi, “Analisa pengaruh variasi arus pengelasan GTAW pada baja AISI 1050 terhadap sifat fisik dan mekanis,” *Journal of Welding Technology. Volume 3, No. 1, 2021.*
- [14] Dadang, Teknik Las GTAW, Jakarta: Direktorat Pendidikan dan Kebudayaan, 2013.
- [15] I. Mulyadi, Buku Ajar Teknologi Pengelasan, Sidoarjo, Jawa Timur: UMSIDA Press, 2020.
- [16] E. N. A. M. Eko Budiyanto, “Pengaruh Diameter Filler dan Arus pada Pengelasan TIG Terhadap Kekuatan Tarik dan I Struktur Mikro pada Baja Karbon,” *TURBO Vol.6 NO.1, 2017.*
- [17] P. K. P. G. N. Nabendu Ghosh, “GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire,” *Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017.*
- [18] U. B. G. R. Daffa Sofyan Taruna, Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Gouging Sambungan Pengelasan SMAW Pada Baja SS 400 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Impak, dan Struktur Mikro, Semarang: Jurnal Teknik Perkapalan, Vol.12,No. 3, 2024.
- [19] D. Perdana, “Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW pada Material Plat SS 400 Disambung Dengan Material Plat SUS 304 Terhadap Sifat Mekanis”. Sidoarjo: Prosiding Seminar Nasional XI Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi *Vol.1, No.1. 2017*
- [20] M. Z. Mahbub, “Pengaruh Masukan Panas Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanik pada Pengelasan Dissimilar Baja AISI 304 dan Baja SS 400 Menggunakan Metode GTAW,” *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 11, No. .*
- [21] U. B. S. J. Mathews Yose Pratama, “Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi

- Pengelasan,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 7, No.4, 2019.
- [22] S. A. Tarkono, “Studi Kekuatan Sambungan Las Baja AISI 1045 dengan Berbagai Metode Posisi Pengelasan,” *Jurnal Mechanical, Volume 1, Nomor 1*, 2010.
- [23] Z. A. S. Triyono1, “Validasi Diagram Schaffler, DeLong dan WRC-1992 dalam memprediksi Struktur Mikro pada Pengelasan Logam Berbeda antara Baja Karbon Rendah dengan Baja Tahan Karat,” *Mekanika, Volume 3 Nomor 3*, 2020.
- [24] Biro Klasifikasi Indonesia, “Rules For The Classification and Construction Volume VI rules For Welding.,” vol. VI, 2022, p. 55.
- [25] Z. Sunarno, “Impactt Test on Steel Metal Materials and Aluminium,” *Journal of Social Research Vol.2, No.7*, 2022.
- [26] F. J. Tulung, “*Buku Ajar Praktek Las Listrik*,” Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia Anggota IKAPI Jawa Barat. 2022