



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Akibat dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan

Luthfi Isna Saputra¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : luthfiisnasaputra@gmail.com, budiartountung@gmail.com, jito_sar@yahoo.com

Abstrak

Baja SS 400 tergolong baja karbon rendah, dimana baja karbon rendah merupakan jenis baja yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dalam berbagai bidang industri. Jenis pengelasan yang tepat dibutuhkan agar sambungan las yang dihasilkan dapat maksimal. Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan dalam perindustrian dan rangka konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil kekuatan tarik, impak, dan struktur mikrografi dari sambungan las jenis double V-butt joint 60° dan single U-butt joint serta perbedaan posisi pengelasan pada baja SS 400 yaitu posisi 1G (*Down Hand*) dan posisi 2G (*Horizontal*). Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa faktor sambungan las dan posisi pengelasan mempengaruhi kualitas sambungan ditinjau dari kekuatannya. Hasil penelitian menunjukkan RAW material baja SS 400 memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 391,02 MPa, rata-rata regangan sebesar 47,71%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,16 GPa dan harga impak sebesar 2,75 J/mm². Pengelasan dengan kampuh double V-butt joint dan posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 403,26 MPa, rata-rata regangan sebesar 44,93%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,71 GPa dan memiliki harga impak sebesar 2,39 J/mm². Pengelasan dengan kampuh single U-butt joint dan posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 402,19 MPa, rata-rata regangan sebesar 45,29%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,42 GPa dan memiliki harga impak sebesar 1,38 J/mm². Pengelasan dengan kampuh double V-butt joint dan posisi pengelasan 2G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 403,75 MPa, rata-rata regangan sebesar 42,71%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 7,23 GPa dan memiliki harga impak sebesar 2,27 J/mm². Sedangkan pengelasan dengan kampuh single U-butt joint dan posisi pengelasan 2G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 401,55 MPa, rata-rata regangan sebesar 45,15%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,68 GPa dan memiliki harga impak sebesar 1,30 J/mm². Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan kampuh double V-butt joint posisi pengelasan 2G memiliki kekuatan tarik terbesar dari jenis variasi lainnya. Sedangkan kampuh double V-butt joint posisi pengelasan 1G memiliki harga impak terbesar dari jenis variasi lainnya.

Kata Kunci : Baja SS 400, Pengelasan SMAW, Posisi Pengelasan, Jenis Kampuh, Tarik, Impak, Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Bahan utama dari konstruksi suatu kapal adalah baja. Salah satu klasifikasi jenis baja yaitu baja karbon rendah. Baja karbon rendah memiliki kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. [1]

Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, bodi mobil, dan lain-lainnya. [1]

Baja SS 400 adalah jenis baja carbon yang mempunyai kadar karbon rendah dibawah 0,3 %. Dibidang perkapalan baja karbon rendah merupakan bahan utama untuk pembuatan kontruksi kapal, seperti pada kontruksi lambung kapal. [2]

Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien.[3]

Dalam pengelasan ada penggolongan posisi dalam pengelasan. Posisi pengelasan tersebut adalah 1G, 2G, 3G, dan 4G. Dari penggolongan tersebut pada dasarnya posisi pengelasan secara garis besar digolongkan pada posisi *down hand*, *horizontal*, *vertical*, dan *over head*. Terlebih lagi pada proses pengelasan berkelanjutan yaitu suatu konstruksi memerlukan pengelasan yang berurutan yang cepat dengan posisi yang berbeda-beda. Dengan adanya keharusan posisi tersebut, maka akan memberikan hasil yang berbeda terhadap kekuatan dan kekerasan hasil lasan. [4]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang sambungan *T-Joint* las baja A 36 (mild steel) menggunakan jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi kampuh *double V butt joint*, *single V butt joint* dan *single U butt joint* yang menunjukkan hasil bahwa kekuatan tarik maksimal yang dihasilkan sebesar 527,48 MPa menggunakan kampuh *double V butt joint*. [5]

Pada penelitian lainnya tentang sambungan las baja SS 400 menggunakan jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi kampuh X, V dan $\frac{1}{2}$ V menunjukkan kekuatan tarik maksimal dihasilkan sebesar 430 MPa menggunakan kampuh *single V butt joint*. [6]

Pada penelitian lainnya mengenai sambungan las baja SS 400 pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) variasi kampuh (V, U dan X) dan variasi arus (100, 110, 120 A) kekuatan tarik maksimal didapatkan oleh kampuh U dan arus 120 A sebesar 352,06 MPa. [7]

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah bagaimana hasil uji kekuatan tarik, dampak, dan mikrografi yang terjadi pada material baja SS 400 setelah pengelasan SMAW dengan jenis kampuh *double V butt-joint* dan posisi pengelasan 1G, pengelasan dengan kampuh *Single-U butt joint* dan posisi pengelasan 1G pengelasan SMAW dengan jenis kampuh *double V butt-joint* dan posisi pengelasan 2G, pengelasan SMAW dengan jenis kampuh *Single-U butt joint* dan posisi pengelasan 2G.

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penelitian ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan adalah baja yang digunakan adalah tipe baja SS 400, jenis pengelasan menggunakan las SMAW, sambungan pengelasan menggunakan jenis sambungan *double V-Butt joint 60°* dan *single U-Butt joint* dengan sudut 60° , pelat baja dilas dengan posisi 1G (*Down Hand*) dan 2G (*Horizontal*), uji material yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji dampak, mikrografi. Pengujian dampak menggunakan uji dampak charpy, pengujian di laboratorium menggunakan sampel dengan total 45 buah spesimen, penelitian hanya dilakukan dengan pengujian tanpa analisis dengan *software*. Terakhir spesimen yang digunakan adalah jenis baja SS 400 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society for Testing and Material*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang kekuatan uji tarik, dampak, dan perubahan struktur mikro pada material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan SMAW menggunakan variasi kampuh dan variasi posisi dalam pengelasan.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari jurnal, buku-buku referensi, modul, artikel, internet, dan studi lapangan secara langsung.

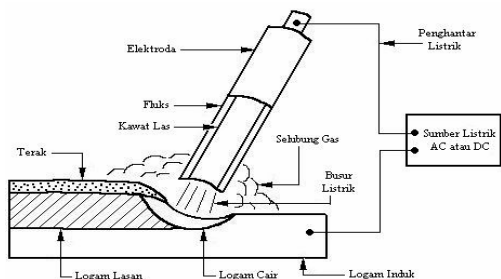
Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah Baja SS 400, dimana jenis baja ini merupakan jenis baja karbon rendah yang sering digunakan sebagai rangka konstruksi, termasuk rangka konstruksi dalam bangunan kapal seperti konstruksi lambung kapal.



Gambar 1. Pelat Baja SS 400

Pengelasan adalah proses penyambungan antara beberapa material logam atau non logam yang dilakukan dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), serta dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) yang menghasilkan sambungan yang kontinyu. [8]

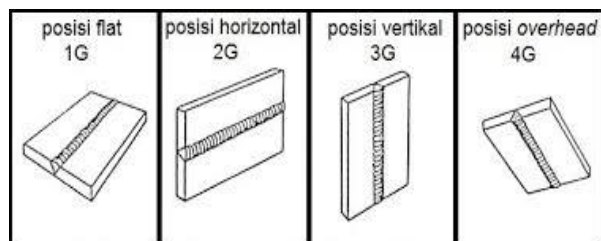
Las SMAW merupakan pengelasan dengan elektroda terbungkus, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harganya terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal, vertikal ataupun posisi diatas kepala (*overhead*) [9].



Gambar 2. Skema Pengelasan SMAW

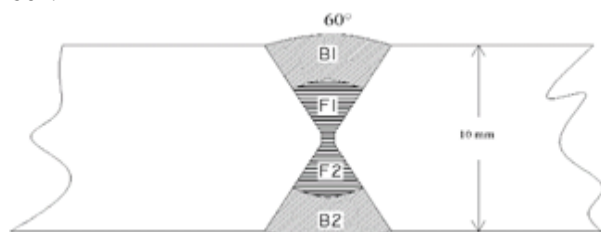
Tingkat kesulitan dalam pengelasan ini dipengaruhi oleh posisi pengelasan. Secara umum posisi pengelasan ini dibedakan berdasarkan posisi material, jalur las, elektroda dan juru las. Pada keterangan berikut akan disebutkan macam posisi pengelasan beserta gambar.

1. Posisi bawah tangan (*down hand*) 1G
2. Posisi mendatar (*horizontal*) 2G
3. Posisi tegak (*vertical*) 3G
4. Posisi atas kepala (*over head*) 4G



Gambar 3. Posisi Pengelasan

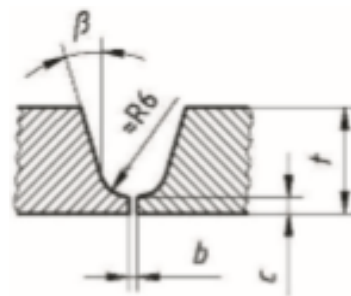
Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini mengacu pada standar AWS NUMBER 3 dengan posisi las 1G, 2G, 3G, dan 4G *Butt Joint double V-Groove* dengan sudut 60°.



Gambar 4. Tipe Sambungan Las *Butt Joint double V-Groove* 60°

Keterangan:

- F1 = Lapisan las depan pertama
- B1 = Lapisan las belakang pertama
- F2 = Lapisan las depan kedua
- B2 = Lapisan las belakang kedua



Gambar 5. Tipe Sambungan Las *Butt Joint single U-Groove* 60°

Keterangan:

- $\beta = 8^\circ - 12^\circ$
- $b < 4 \text{ mm}$
- $c < 3 \text{ mm}$

Kualitas dari sambungan las sangat menentukan kekuatan dari hasil sambungan las tersebut. Pengelasan yang baik akan menghasilkan kualitas sambungan dan masukan panas (*heat input*) yang baik.

Masukan panas (*heat input*) dalam pengelasan ditentukan oleh beberapa parameter pengelasan diantaranya adalah tegangan busur las, arus listrik, dan kecepatan pengelasan.

$$HI = \frac{60 \times E \times I}{v} \quad (1)$$

Dimana, HI adalah *Heat Input* (Joule/cm), *I* adalah Kuat Arus (*Ampere*), *E* adalah Tegangan Busur (volt), dan *v* adalah Kecepatan Las (cm/menit)

Uji tarik adalah pengujian merusak yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik suatu material. Kekuatan tarik suatu material dapat diketahui apabila garis gaya berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan terjadi beban tarik lurus. [10] Sifat-sifat yang dihasilkan dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum (σ)
Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*).

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

Dimana, σ adalah Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm²), *P* adalah Beban Maksimum (N), dan *A₀* adalah Luas Penampang Mula-mula (mm²).

2. Regangan maksimum (e)

Regangan maksimum dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perpatahan terhadap panjang awalnya.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Dimana, L_i adalah Panjang sesudah patah (mm), L_0 adalah Panjang mula-mula (mm), e adalah Regangan (%).

3. Modulus elastisitas (E)

Merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan. Modulus elastisitas tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastik yang linier.

$$E = \frac{\sigma_y}{e} \quad (4)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa), σ_y adalah Tegangan Luluh (KN/mm²), dan e adalah Regangan (%). [11]

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas yang dapat dilihat dengan mata telanjang. [12]

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan lahan.

Pengujian Impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering di temui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba, contoh deformasi pada bumper mobil pada saat terjadinya tumbukan kecelakaan.

Prinsip pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi.[11]

Uji mikrografi adalah pengujian visual yang dilakukan terhadap material dengan tujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro dari sebuah logam atau paduan. Struktur mikro dari suatu logam atau paduan dapat diketahui melalui pengujian mikrografi dengan memperjelas batas-batas butir pada material sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya.[14]

2.2. Tahap Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tahap-tahap yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pengumpulan Bahan

Baja yang dipesan berukuran 20 cm x 100 cm.

2. Pemotongan Pelat

Pelat dipotong menjadi 8 bagian berukuran 20 cm x 10 cm untuk spesimen uji tarik, impak dan mikrografi, setiap variasi menggunakan 2 pelat. RAW material menggunakan 1 pelat berukuran 20 cm x 20 cm untuk uji tarik, impak dan mikrografi.

3. Pembuatan Kampuh

Kampuh yang digunakan yaitu *double V-butt joint* dan *single U butt joint*.

4. Pengelasan Baja

Pelat baja yang telah di bentuk sudut kampuhnya lalu di las menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan detail sebagai berikut:

a. Jenis pengelasan : SMAW

b. Mesin Las : DAIDEN MMA 400

c. Jenis Elektroda : E-7016 (3,2 mm)

d. Logam induk : Baja SS 400 (10 mm)

5. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM E8, dengan dimensi ukuran 200 mm x 20 mm x 10 mm 20 buah. Sedangkan pembuatan spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM E23, dengan dimensi ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm 20 buah, dan pembuatan spesimen uji mikrografi dibuat dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm 5 buah.

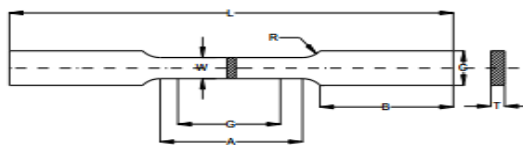
6. Proses Pengujian

Pengujian spesimen tarik dan tekuk dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Mesin yang digunakan untuk pengujian tarik dan impak ini adalah mesin "*ContraLab France*" yang tersedia di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Pengujian struktur mikro menggunakan alat "*Olympus PME 3*" yang tersedia di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

2.3 Parameter Penelitian

A. Parameter Tetap

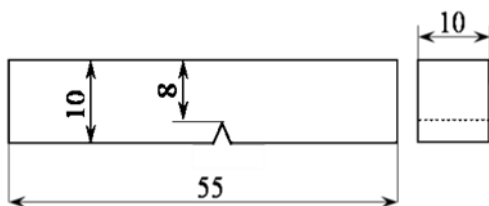
Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja SS 400, tipe pengelasan yang di gunakan adalah pengelasan SMAW, diameter elektroda pengisi 3,2 mm, dan dimensi ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Tarik [15]

Tabel 1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
Gage length (G)	50 mm
Length of reduced section (A)	57 mm
Width (W)	12,5 mm
Thickness (T)	10 mm
Radius of fillet (R)	12,5 mm
Overall length (L)	200 mm
Width of grip section (C)	20 mm



Gambar 7. Bentuk Spesimen Tarik [16]

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Impak

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	55 mm
Width (W)	10 mm
Thickness (T)	10 mm
Notched Charpy	45°

B. Parameter Perubahan

Pada penelitian ini parameter perubahan adalah posisi pengelasan yaitu 1G (*Down Hand*) dan 2G (*Horizontal*), jenis kampuh yaitu *double V butt joint* dan *single U butt joint*, pengujian tarik, pengujian impact, dan pengujian mikrografi.

Pada penelitian ini, proses pengelasan SMAW dilakukan di laboratorium las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" Surakarta. Sedangkan proses pengujian tarik, impact, dan mikrografi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

2.4 Parameter Penelitian

Peralatan dan bahan penelitian digunakan dalam pembuatan spesimen maupun pengambilan data. Alat dan bahan yang digunakan antara lain:

1. Baja SS 400
2. Elektroda E7016
3. Amplas
4. Gerinda
5. Mesin Uji Tarik
6. Mesin uji impact
7. Mesin uji mikrografi
8. Mesin Las SMAW



Gambar 8. Baja SS 400 dan Elektroda E7016



Gambar 9. Amplas dan Gerinda



Gambar 10. Mesin Uji Tarik dan Impact



Gambar 11. Mikroskop dan Mesin Las

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Komposisi Bahan

Uji komposisi bahan dilakukan sebagai validasi untuk menentukan tingkat kesesuaian jenis bahan yang digunakan pada penelitian ini. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja karbon rendah SS 400.[18]

Tabel 3. Hasil Uji Komposisi

Unsur		Kandungan %
Fe	Ferrum	98,98
C	Carbon	0,200
Si	Silicon	0,09
Mn	Mangan	0,53
P	Phosphorus	0,100
S	Sulfur	0,040
Cr	Chromium	0,030
Ni	Nickel	0,030

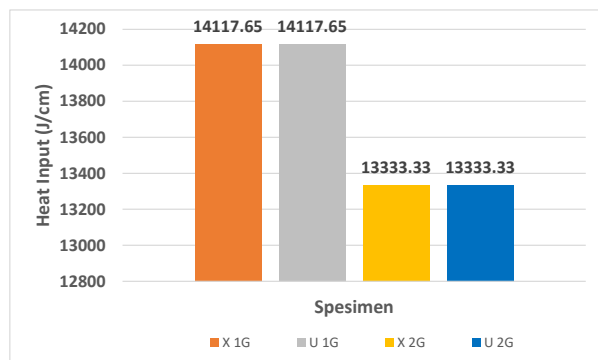
Dari hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen tersebut mengandung unsur penyusun utama besi (Fe) = 98,98%, mangan (Mn) = 0,53% yang berguna untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan, silisium (Si) = 0,09% yang berpengaruh meningkatkan kemampuan keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat.

Sedangkan unsur-unsur lain yang didapatkan adalah karbon (C) = 0,200%, fosfor (P) = 0,100%, nikel (Ni) = 0,030%, sulphur (S) = 0,040%, khrom (Cr) = 0,030%. Dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan kriteria baja SS 400 (*Low Carbon Steel*).

3.2 Hasil Pengelasan dan Heat Input

Dalam pengelasan pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode pengelasan SMAW dengan memperimbangkan diameter elektroda, *voltage*, *ampere*, dan sudut kampuh mempunyai tujuan agar masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las dapat maksimal. Dari pengelasan SMAW yang sudah dilakukan didapatkan rata-rata kecepatan pengelasan sebesar 8-10 cm/menit, sehingga nilai heat input sebesar:

- Kampuh X Posisi 1G = $\frac{60 \times 20v \times 100A}{8,5 \text{ cm/menit}}$
= 14117,65 Joule/cm
- Kampuh U Posisi 1G = $\frac{60 \times 20v \times 100A}{8,5 \text{ cm/menit}}$
= 14117,65 Joule/cm
- Kampuh X Posisi 2G = $\frac{60 \times 20v \times 100A}{9 \text{ cm/menit}}$
= 13333,33 Joule/cm
- Kampuh U Posisi 2G = $\frac{60 \times 20v \times 100A}{9 \text{ cm/menit}}$
= 13333,33 Joule/cm



Gambar 12. Grafik Rata-rata Heat Input

3.3 Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 18 Mei 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan dengan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi kampuh dan posisi dalam pengelasan.

1. Tegangan Tarik

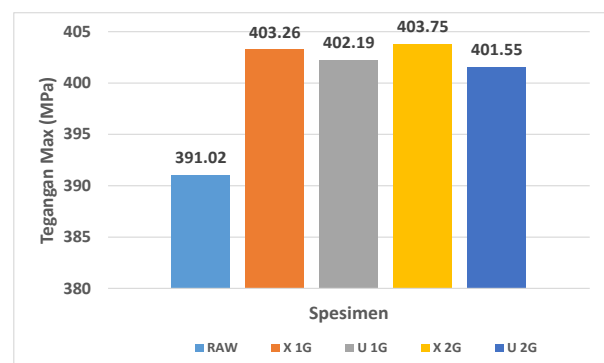
Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan variasi kampuh dan posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Data hasil pengujian tegangan tarik

Spesimen	P Max (KN)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	σ Max (MPa)	σ Max Rata-rata (MPa)
RAW 1	55,67	9,87	14,41	391,42	389,30
RAW 2	55,62	9,90	14,35	391,51	
RAW 3	54,70	9,86	14,22	390,13	
RAW 4	53,16	9,85	14,05	384,12	
Kampuh X1G 1	57,45	10,24	13,83	405,67	400,77
Kampuh X1G 2	58,87	10,34	14,44	394,28	
Kampuh X1G 3	58,83	10,41	14,37	393,27	
Kampuh X1G 4	55,81	10,17	13,39	409,84	
Kampuh U1G 1	56,28	10,08	14,27	391,26	399,46
Kampuh U1G 2	59,72	10,03	14,82	401,76	
Kampuh U1G 3	56,94	9,83	14,20	407,92	
Kampuh U1G 4	58,25	9,95	14,75	396,90	
Kampuh X2G 1	57,14	9,91	14,49	397,92	398,49
Kampuh X2G 2	54,46	9,87	13,84	398,68	
Kampuh X2G 3	58,04	9,68	14,46	414,65	
Kampuh X2G 4	53,02	9,96	13,91	382,70	
Kampuh U2G 1	57,98	9,84	14,50	406,36	397,47
Kampuh U2G 2	58,98	10,05	14,88	394,40	
Kampuh U2G 3	59,05	10,00	14,62	403,90	
Kampuh U2G 4	54,29	10,01	14,08	385,20	

Tabel 4. Data Tegangan Tarik Yang Memenuhi Standar Deviasi

Spesimen	Standar Deviasi	σ Max (MPa)	σ Max Rata-rata (MPa)
RAW 1		391,42	
RAW 2	3,507	391,51	391,02
RAW 3		390,13	
Kampuh X1G 1		405,67	
Kampuh X1G 2	9,259	394,28	403,26
Kampuh X1G 4		409,84	
Kampuh U1G 2		401,76	
Kampuh U1G 3	7,086	407,92	402,19
Kampuh U1G 4		396,90	
Kampuh X2G 1		397,92	
Kampuh X2G 2	13,049	398,68	403,75
Kampuh X2G 3		414,65	
Kampuh U2G 1		406,36	
Kampuh U2G 2	9,667	394,40	401,55
Kampuh U2G 3		403,90	



Gambar 13. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian berdasarkan standar deviasi didapatkan hasil:

1. Spesimen 4 RAW material memiliki standar deviasi paling menyimpang dikarenakan lebih banyak korosi dibanding spesimen lain.
2. Spesimen 3 pengelasan dengan kampuh *double V butt joint* posisi 1G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena pengelasannya yang kurang baik.
3. Spesimen 1 pengelasan dengan kampuh *single U butt joint* posisi 1G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena pengelasannya yang kurang baik.
4. Spesimen 4 pengelasan dengan kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena pengelasannya yang kurang baik.
5. Spesimen 4 pengelasan dengan kampuh *single U butt joint* posisi 2G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena pengelasannya yang kurang baik.

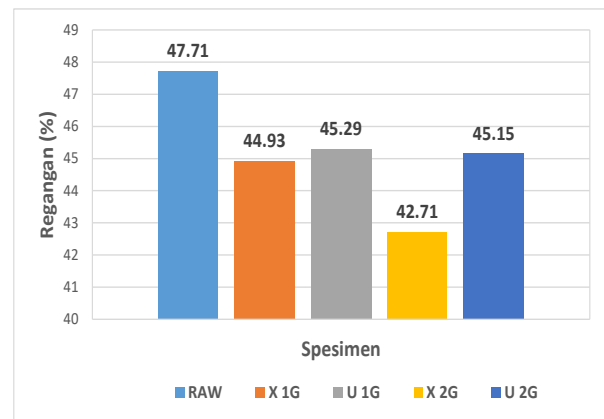
Berdasarkan hasil RAW material baja SS 400 memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 391,02 MPa. Pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 403,26 MPa, kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 402,19 MPa, kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 2G memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 403,75 MPa. Sedangkan pengelasan kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 2G memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 401,55 MPa. Jadi sambungan las baja SS 400 menggunakan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 2G memiliki rata rata kekuatan tarik terbesar yaitu 403,75 MPa.

2. Regangan Tarik

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan variasi kampuh dan posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Data hasil pengujian regangan tarik

No	Spesimen	Lo (mm)	LI (mm)	Δl (mm)	Regangan (%)	Regangan Rata-rata (%)
1	RAW 1	50	73,41	23,41	46,82	
2	RAW 2	50	74,22	24,22	48,44	47,71
3	RAW 3	50	73,94	23,94	47,88	
4	Kampuh X1G 1	50	73,71	23,71	47,42	
5	Kampuh X1G 2	50	70,51	20,51	41,02	44,93
6	Kampuh X1G 4	50	73,17	23,17	46,34	
7	Kampuh U1G 2	50	72,59	22,59	45,18	
8	Kampuh U1G 3	50	72,15	22,15	44,30	45,29
9	Kampuh U1G 4	50	73,19	23,19	46,38	
10	Kampuh X2G 1	50	71,69	21,69	43,38	
11	Kampuh X2G 2	50	70,72	20,72	41,44	42,71
12	Kampuh X2G 3	50	71,66	21,66	43,32	
13	Kampuh U2G 1	50	71,40	21,40	42,80	
14	Kampuh U2G 2	50	73,19	23,19	46,38	45,15
15	Kampuh U2G 3	50	73,13	23,13	46,26	



Gambar 14. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Nilai rata-rata regangan tarik yang didapatkan dari RAW material baja SS 400 yaitu 47,71%. Pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 1G memiliki nilai rata-rata regangan tarik sebesar 44,93%. Pengelasan kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 1G memiliki nilai rata-rata regangan tarik sebesar 45,29%.

Pengelasan kampuh *double V butt joint* serta posisi pengelasan 2G memiliki nilai rata-rata regangan tarik sebesar 42,71%. Sedangkan pengelasan kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 2G memiliki nilai rata-rata regangan tarik sebesar 45,15%.

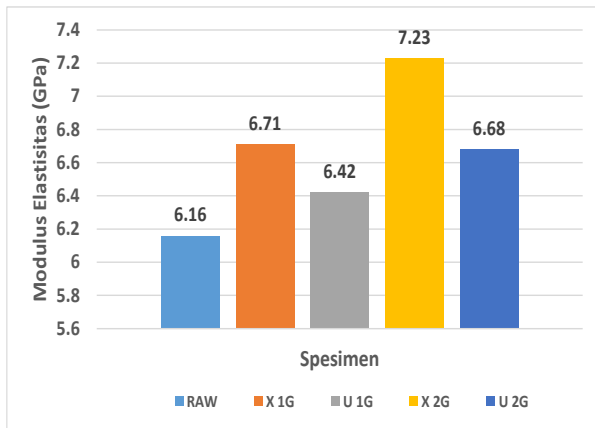
Jadi sambungan las baja SS 400 menggunakan kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 1G memiliki rata rata regangan tarik terbesar yaitu 45,29%.

3. Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan variasi kampuh dan posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data hasil modulus elastisitas

No	Spesimen	σ _y (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
1	RAW 1	294,91	46,82	6298,80	6,30	
2	RAW 2	295,66	48,44	6103,63	6,10	6,16
3	RAW 3	290,85	47,88	6074,56	6,07	
4	Kampuh X1G 1	302,84	47,42	6386,33	6,39	
5	Kampuh X1G 2	286,83	41,02	6992,44	6,99	6,71
6	Kampuh X1G 4	312,71	46,34	6748,17	6,75	
7	Kampuh U1G 2	295,87	45,18	6548,70	6,55	
8	Kampuh U1G 3	267,60	44,30	6040,63	6,04	6,42
9	Kampuh U1G 4	309,85	46,38	6680,68	6,68	
10	Kampuh X2G 1	312,48	43,38	7203,32	7,20	
11	Kampuh X2G 2	306,13	41,44	7387,31	7,39	7,23
12	Kampuh X2G 3	307,03	43,32	7087,49	7,09	
13	Kampuh U2G 1	290,47	42,80	6786,68	6,79	
14	Kampuh U2G 2	305,74	46,38	6592,07	6,59	6,68
15	Kampuh U2G 3	307,81	46,26	6653,91	6,65	



Gambar 15. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian, nilai modulus elastisitas rata-rata RAW material baja SS 400 sebesar 6,16 GPa. Pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi 1G memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,71 GPa. Pengelasan kampuh *single U butt joint* posisi 1G memiliki rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,42 GPa. Pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 7,23 GPa. Sedangkan pengelasan kampuh *single U butt joint* posisi 2G memiliki nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,68 GPa. Kesimpulannya pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki sifat yang lebih kaku dibandingkan dengan variasi kampuh dan posisi pengelasan yang lainnya.

3.4 Hasil Pengujian Impak (*Impact Test*)

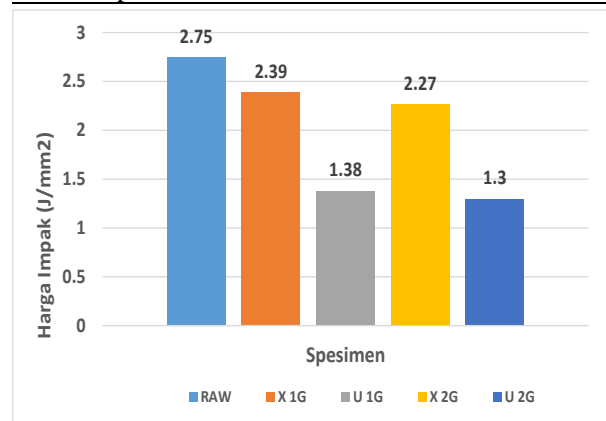
Pengujian impak dilakukan menggunakan standar uji ASTM E23 pada tanggal 18 Mei 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian impak pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Data Hasil Uji Impak

No	Spesimen	Energi Terserap (J)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	Harga Impak (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
1	RAW 1	220	7,58	9,80	391,42	2,96	2,92
2	RAW 2	285	8,52	9,82	391,51	3,41	
3	RAW 3	183	7,30	9,80	390,13	2,56	
4	RAW 4	209	7,81	9,81	384,12	2,73	
5	Kampuh X1G 1	196	8,29	10,24	405,67	2,31	2,26
6	Kampuh X1G 2	158	6,85	10,03	394,28	2,3	
7	Kampuh X1G 3	151	8,11	10,04	393,27	1,85	
8	Kampuh X1G 4	205	7,99	10,04	409,84	2,56	
9	Kampuh U1G 1	202	7,99	9,90	391,26	2,55	1,68
10	Kampuh U1G 2	154	8,25	10,13	401,76	1,84	
11	Kampuh U1G 3	85	7,09	10,07	407,92	1,19	
12	Kampuh U1G 4	90	7,89	10,20	396,90	1,12	
13	Kampuh X2G 1	184	7,97	10,20	397,92	2,26	2,43
14	Kampuh X2G 2	213	7,77	10,67	398,68	2,57	
15	Kampuh X2G 3	156	7,61	10,43	414,65	1,97	
16	Kampuh X2G 4	257	8,58	10,33	382,70	2,9	
17	Kampuh U2G 1	123	8,00	9,97	406,36	1,54	1,47
18	Kampuh U2G 2	165	8,19	10,11	394,40	1,99	
19	Kampuh U2G 3	94	7,51	9,77	403,90	1,28	
20	Kampuh U2G 4	74	7,17	9,64	385,20	1,07	

Tabel 8. Data Harga Impak Yang Memenuhi Standar Deviasi

No	Spesimen	Standar Deviasi	Harga Impak (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
1	RAW 1		2,96	2,75
2	RAW 3	0,368	2,56	
3	RAW 4		2,73	
4	Kampuh X1G 1		2,31	
5	Kampuh X1G 2	0,296	2,3	2,39
6	Kampuh X1G 4		2,56	
7	Kampuh U1G 2		1,84	
8	Kampuh U1G 3	0,667	1,19	
9	Kampuh U1G 4		1,12	
10	Kampuh X2G 1		2,26	
11	Kampuh X2G 2	0,400	2,57	2,27
12	Kampuh X2G 3		1,97	
13	Kampuh U2G 1		1,54	
14	Kampuh U2G 3	0,396	1,28	
15	Kampuh U2G 4		1,07	



Gambar 16. Nilai Rata-rata Harga Impak

Dari hasil pengujian berdasarkan standar deviasi didapatkan hasil:

1. Spesimen 2 RAW material memiliki standar deviasi yang paling menyimpang karena bentuk takik yang kurang baik.
2. Spesimen 3 pengelasan dengan kampuh *double V butt joint* posisi 1G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena bentuk takik yang kurang baik.
3. Spesimen 1 pengelasan dengan kampuh *single U butt joint* posisi 1G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena bentuk takik yang kurang baik.
4. Spesimen 4 pengelasan dengan kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena bentuk takik yang kurang baik.
5. Spesimen 2 pengelasan dengan kampuh *single U butt joint* posisi 2G memiliki standar deviasi paling menyimpang karena bentuk takik yang kurang baik.

Berdasarkan pengujian impak yang telah dilakukan pada baja SS 400, didapatkan nilai impak rata-rata RAW material baja SS 400 sebesar 2,75 J/mm².

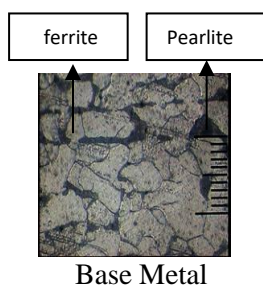
Pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 1G memiliki harga impak tertinggi sebesar 2,39 J/mm², disusul pengelasan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 2G sebesar 2,27 J/mm², pengelasan kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 1G sebesar 1,38 J/mm² dan terendah yaitu pengelasan kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 2G sebesar 1,30 J/mm².

Berdasarkan pengujian impak ini sambungan las dengan pengelasan kampuh *double V butt joint* serta posisi pengelasan 1G memiliki harga impak tertinggi dari pada sambungan las dengan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 2G, kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 1G, dan kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 2G.

3.5 Struktur Mikro

Pengujian mikrofografi bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur mikro pada sambungan las baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan SMAW dengan variasi kampuh dan variasi posisi pengelasan sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro. Berikut hasil pengujian struktur mikro sambungan las baja SS 400:

• RAW Material

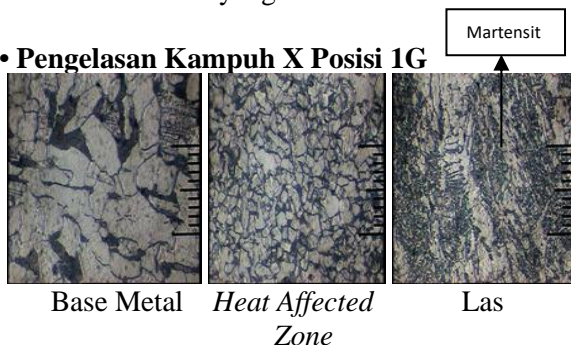


Base Metal

Gambar 17. Struktur Mikro RAW

Pada base metal raw material dominan *ferrite* sebesar 80% sedangkan *pearlite* sebesar 20%. *Ferrite* sendiri berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam (gelap). Fasa *ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. Fasa *pearlite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas. Jadi pada base metal raw material memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

• Pengelasan Kampuh X Posisi 1G



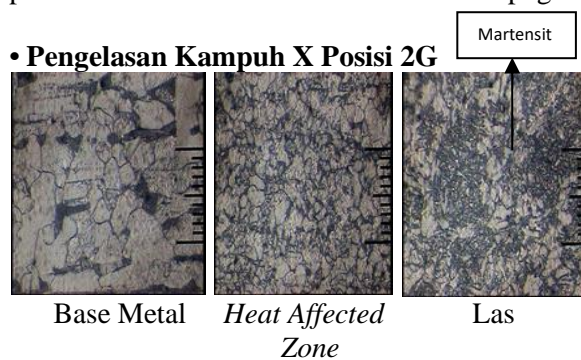
Gambar 18. Struktur Mikro Kampuh X dan Posisi Pengelasan 1G

Pada base metal kampuh *double V butt joint* posisi 1G dominan *ferrite* sebesar 75% dan *pearlite* sebesar 25%. *Ferrite* berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam (gelap). *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. *Pearlite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas. Jadi pada base metal kampuh *double V butt joint* posisi 1G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) kampuh *double V butt joint* posisi 1G dominan *ferrite* sebesar 63% sedangkan *pearlite* sebesar 37%. Jadi pada daerah HAZ kampuh *double V butt joint* posisi 1G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah las kampuh *double V butt joint* posisi 1G terbentuk fasa *martensit* yang dominan sebesar 75% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut sedangkan *ferrite* sebesar 25%. Jadi pada daerah las kampuh *double V butt joint* posisi 1G material memiliki sifat keras tetapi getas.

• Pengelasan Kampuh X Posisi 2G



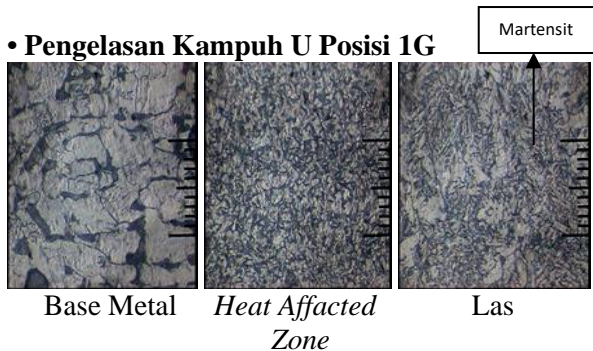
Gambar 19. Struktur Mikro Kampuh X dan Posisi Pengelasan 2G

Pada base metal kampuh *double V butt joint* posisi 2G dominan *ferrite* sebesar 80% dan *pearlite* sebesar 20%. *Ferrite* berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam (gelap). *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. *Pearlite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas. Jadi pada base metal kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) kampuh *double V butt joint* posisi 2G dominan *ferrite* sebesar 60% sedangkan *pearlite* sebesar 40%. Jadi pada daerah HAZ kampuh *double V butt joint* posisi 2G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah las kampuh *double V butt joint* posisi 2G terbentuk fasa *martensit* yang dominan sebesar 73% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut sedangkan *ferrite* sebesar 27%. Jadi pada daerah las kampuh *double V butt joint* posisi 2G material memiliki sifat keras tetapi getas.

• Pengelasan Kampuh U Posisi 1G



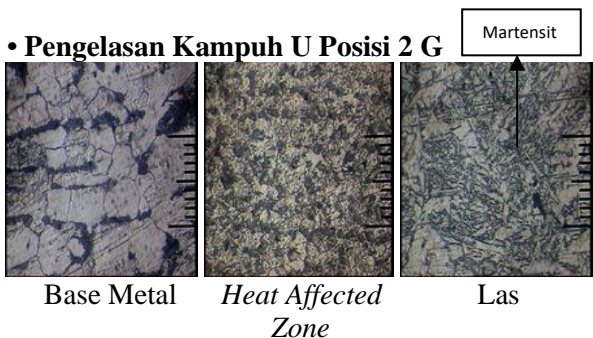
Gambar 20. Struktur Mikro Kampuh U dan Posisi Pengelasan 1G

Pada base metal kampuh *single U butt joint* posisi 1G dominan *ferrite* sebesar 75% dan *pearlite* sebesar 25%. *Ferrite* berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam (gelap). *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. *Pearlite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas. Jadi pada base metal kampuh *single U butt joint* posisi 1G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) kampuh *single U butt joint* posisi 1G dominan *pearlite* sebesar 85% sedangkan *ferrite* sebesar 15%. Jadi pada daerah HAZ kampuh *single U butt joint* posisi 1G memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas.

Pada daerah las kampuh *single U butt joint* posisi 1G terbentuk fasa *martensit* yang dominan sebesar 70% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut sedangkan *ferrite* sebesar 30%. Jadi pada daerah las kampuh *single U butt joint* posisi 1G material memiliki sifat keras tetapi getas.

• Pengelasan Kampuh U Posisi 2G



Gambar 21. Struktur Mikro Kampuh U Posisi Pengelasan 2G

Pada base metal kampuh *single U butt joint* posisi 2G dominan *ferrite* sebesar 80% dan *pearlite* sebesar 20%. *Ferrite* berwarna putih dan *pearlite* berwarna hitam (gelap). *Ferrite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik. *Pearlite* merupakan fasa yang memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas. Jadi pada base metal kampuh *single U*

butt joint posisi 2G memiliki kekuatan rendah namun memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) kampuh *single U butt joint* posisi 2G dominan *pearlite* sebesar 80% sedangkan *ferrite* sebesar 20%. Jadi pada daerah HAZ kampuh *single U butt joint* posisi 2G memiliki kekuatan yang kuat dan cukup keras tetapi getas.

Pada daerah las kampuh *single U butt joint* posisi 2G terbentuk fasa *martensit* yang dominan sebesar 65% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut sedangkan *ferrite* sebesar 35%. Jadi pada daerah las kampuh *single U butt joint* posisi 2G material memiliki sifat keras tetapi getas.

3.6 Perbandingan Hasil Uji dengan Standar BKI

Menurut BKI pada “*Rules For The Classification and Construction, Part 1 Vol VI: Rules for Welding, Section 5: Welding Consumables and Auxilliary Materials*”. Poin B “*Covered Electrodes for Manual Metal Arc Welding of Hull Structural Steel*” baja karbon rendah SS 400 harus mempunyai standar nilai kuat tarik (*Tensile Strength*) yaitu 400-560 MPa. [17]

Tabel 9. Hasil perbandingan kekuatan tarik baja SS 400 terhadap Rule BKI

No	Spesimen	Standar Kekuatan Tarik BKI (MPa)	Hasil Pengujian (MPa)
1	RAW	400-560	391,02
2	X 1G	400-560	403,26
3	U 1G	400-560	402,19
4	X 2G	400-560	403,75
5	U 2G	400-560	401,55

Berdasarkan tabel diatas nilai kekuatan tarik pada sambungan las baja SS 400 menggunakan jenis las SMAW dengan kampuh *double V butt joint* serta posisi pengelasan 1G, kampuh *double V butt joint* serta posisi pengelasan 2G, kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 1G, dan kampuh *single U butt joint* serta posisi pengelasan 2G semuanya memenuhi standar BKI.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan setelah dilakukan pengujian tarik, impak, dan mikrografi pada sambungan las baja SS 400 menggunakan kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 1G, kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 1G, kampuh *double V butt joint* posisi pengelasan 2G, dan kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 2G, adalah sebagai berikut:

Kekuatan rata-rata tegangan tarik RAW material yaitu 391,02 MPa, kampuh X posisi yaitu 403,26 MPa, kampuh U posisi 1G yaitu 402,19 MPa, kampuh X posisi 2G adalah 403,75 MPa, dan kampuh U posisi 2 G adalah 401,55 MPa.

Rata-rata regangan tarik RAW material yaitu 47,71%, kampuh X posisi 1G adalah 44,93%, kampuh U posisi 1G adalah 45,29%, kampuh X posisi 2G sebesar 42,71%, dan kampuh U posisi 2G adalah 45,15%.

Rata-rata modulus elastisitas RAW material adalah 6,16 GPa. Yang tertinggi untuk variasi yaitu kampuh X posisi 2G sebesar 7,23 GPa, kampuh X posisi 1G sebesar 6,71 GPa, kampuh U posisi 2G sebesar 6,68 GPa, terakhir kampuh U posisi 1G yaitu 6,42 GPa.

RAW material mempunyai keuletan terbaik karena memiliki rata-rata harga impak tertinggi yaitu 2,75 J/mm², sedangkan kampuh X posisi 1G memiliki sifat paling ulet dibanding variasi lain karena memiliki rata-rata harga impak paling besar yaitu sebesar 2,39 J/mm², diikuti kampuh X posisi 2G sebesar 2,27 J/mm², lalu kampuh U posisi 1G sebesar 1,38 J/mm² dan yang paling getas yaitu kampuh U posisi 2G karena memiliki rata-rata harga impak terendah yaitu sebesar 1,30 J/mm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak lain. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Tuhan Yang Maha Esa dan semua pihak yang telah membantu baik formil maupun materiil kepada penulis dalam menyusun penelitian ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Orang tua, Dosen Pembimbing 1 dan 2 yang telah memberikan petunjuk, bantuan, serta dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM Handbook Vol 1:148 (1993)
- [2] Mulyatno, IP dan Sarjito J.S. 2008. *Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Marine Plate 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan incomplete Penetration*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 5, No 2.
- [3] Hamid, Abdul .2016. *Analisa Pengaruh Arus Pengelasan SMAW Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan*. Batam : Jurnal Teknologi Elektro. Vol. 7, No 1 : 26-36
- [4] Qomari, Achmad Nurul, Solicin dan Prihanto Tri Hutomo. 2015. *Pengaruh Pola Gerakan Elektrode dan Posisi Pengelasan Terhadap Kekerasan Hasil Las Pada Baja ST60*. Jurnal Teknik Mesin – Tahun 23 No.2 – Universitas Negeri Malang.

- [5] Fridayan, Robby Nur, Herman Pratikno dan Hasan Ikhvani. 2017. *Analisis Pengaruh Variasi Heat Input dan Bentuk Kampuh pada Pengelasan SMAW Weld Joint Baja A 36 Terhadap Sifat Mekanik*. Surabaya: Jurnal Teknik ITS Vol.6, No 2. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6] Kurniawan, Anjas Nurcahyo. 2017. *Pengaruh Variasi Bentuk Kampuh Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Kekuatan Tarik Pada Proses Pengelasan Baja SS 400 Dengan Metode SMAW (Shielded Metal Arc Welding)*. Surakarta: Fakultas Keguruan dan Ilmu Kependidikan Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [7] Huda, Saiful, Joko Waluyo dan Teguh Fintoro. 2013. *Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Pada Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Sudut dan Kekuatan Tarik Sambungan Butt Joint Baja AISI 4140*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- [8] Wiryoso, H. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan ke-7. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [9] Mulyatno, IP dan Sarjito J.S. 2008. *Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Marine Plate 42 Akibat Faktor Cacat Porositas dan incomplete Penetration*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 5, No 2 : 102-113.
- [10] Susetyo, F. B., Syaripuddin, & Hutomo, S. (2013). Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG. *Jurnal Mechanical*, 4(2), 13.
- [11] Yuwono, A. H. 2009. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [12] Setiaji, R. 2009. *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI.
- [13] Naufal, A. 2016. *Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan Gtaw*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [14] *Metallography and Microstructure*. 2004. ASM Metals Handbook, Vol 9.
- [15] ASTM E8/E8M-09. 2009. *Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*. USA.
- [16] ASTM E23/E23-07aE1. 2007. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. USA.

- [17] Biro Klasifikasi Indonesia, 2013, "*Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding*", Jakarta.
- [18] Febri, Baharudin Yusuf. 2011. *Analisa Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GMAW Baja SS 400 Studi Kasus di PT.INKA Madiun*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Institut Sepuluh November Surabaya.