



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## 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

Mathews Yose Pratama<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>1)</sup>, Sarjito Jokosisworo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Pengelasan

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

<sup>\*)</sup>e-mail : [matthewjosepratama12@gmail.com](mailto:matthewjosepratama12@gmail.com), [budiartountung@gmail.com](mailto:budiartountung@gmail.com), [jito\\_sar@yahoo.com](mailto:jito_sar@yahoo.com)

### Abstrak

Baja SS 400 adalah jenis baja karbon rendah yang mempunyai kadar karbon dibawah 0,3%. Pada bidang perkapalan baja karbon rendah merupakan bahan utama untuk pembuatan konstruksi kapal, seperti pada konstruksi lambung kapal. Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan dalam perindustrian dan rangka konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil kekuatan tarik, tekuk, dan struktur mikrografi dari sambungan las baja SS 400 dengan perbedaan jenis kampuh dan posisi pengelasan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan jenis kampuh V dan posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 410 MPa, rata-rata regangan sebesar 41,67%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,79 GPa. Dan memiliki tegangan tekuk sebesar 569,41 MPa. Baja SS 400 dengan jenis kampuh V posisi pengelasan 2G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 411,66 MPa, rata-rata regangan sebesar 42,66%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,83 GPa. Dan memiliki tegangan tekuk sebesar 541,68 MPa. Baja SS 400 dengan jenis kampuh U posisi pengelasan 1G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 377 MPa, rata-rata regangan sebesar 39,33%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,45 GPa. Dan memiliki tegangan tekuk sebesar 558,88 MPa. Sedangkan baja SS 400 dengan jenis kampuh U posisi pengelasan 2G memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 400,66 MPa, rata-rata regangan sebesar 37,67%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 7,92 GPa. Dan memiliki tegangan tekuk sebesar 555,53 MPa. RAW material baja SS 400 memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 391 MPa, rata-rata regangan sebesar 47,66%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 6,06 GPa. Serta memiliki tegangan tekuk sebesar 515,28 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan jenis kampuh V posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan yang lebih besar dari jenis variasi lainnya.

Kata Kunci : Baja SS 400, Pengelasan FCAW, Posisi Pengelasan, Jenis Kampuh, Tarik, Tekuk, Mikrografi

### 1. PENDAHULUAN

Dalam konstruksi kapal baja sangat diperlukan karena merupakan bahan utama dari konstruksi kapal tersebut. Baja Karbon Rendah merupakan jenis baja yang sering digunakan untuk pembuatan konstruksi yang memerlukan sifat keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Dengan kekerasan 95-145 Brinnel dan kekuatan tarik 320-550 MPa, baja karbon rendah sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kapal, jembatan, rangka dan struktur konstruksi bangunan dan juga mesin. [1]

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

Las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (rol) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas argon sebagai pelindung busur. Las FCAW adalah

proses otomatis yang memanfaatkan elektroda wire roll untuk mencairkan logam. Selain itu, FCAW memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan teknik pengelasan umum karena teknik ini memiliki kontrol yang lebih baik serta sifat tarik las baja rendah. [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]

Penelitian sebelumnya yang lainnya ialah penelitian tentang sambungan *T-Joint* las baja SS 400 (mild steel) menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi posisi pengelasan yang menunjukkan hasil bahwa kekuatan tekan maksimal yang dihasilkan sebesar 436,36 MPa pada posisi pengelasan 3F dan hasil pengujian visual adanya perbedaan dari kedalaman penembusan dan luasan kampuh las yang terbentuk. [2]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja SSC 41 yang menunjukkan hasil kekerasan vickers tertinggi pada posisi pengelasan 4G dan variabel gerakan elektroda pola C sebesar 513,891 Kg/mm<sup>2</sup>. [6]

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*. [7]

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

Sebagai arahan serta acuan dalam penelitian ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang

di harapkan maka batasan masalah yang digunakan adalah baja yang digunakan adalah tipe baja SS 400 dengan tebal pelat baja SS 400 10 mm dan jenis pengelasan menggunakan las FCAW. Sambungan pengelasan menggunakan jenis sambungan *single V-Butt joint 60°* dan *single U-Butt joint* dengan sudut 60°. Untuk logam pengisi/elektroda (*Filler metal*) yaitu AWS A5.20 E71T-1C. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Teknik Mesin sekolah vokasi Universitas Gajah Mada dengan standar ASTM E8 dan pengujian tekuk dengan standar ASTM E190-14. Pengujian di laboratorium menggunakan sampel dengan total 45 buah spesimen, dan penelitian ini hanya dilakukan dengan pengujian tanpa analisis dengan *software*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan dengan jenis kampuh dan sambungan las yang berbeda dengan pengujian tarik, tekuk, dan mikrografi sehingga dapat diketahui penggunaan jenis kampuh dan posisi pengelasan yang tepat pada baja SS 400 yang akan digunakan sebagai rangka konstruksi.

## 2. METODE

### 2.1. Pengumpulan Data

Penelitian ini melakukan pengumpulan data 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 untuk rangka konstruksi, termasuk rangka konstruksi dalam bangunan kapal seperti konstruksi lambung kapal.



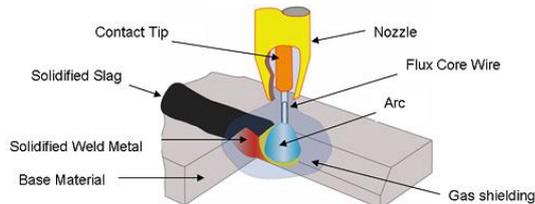
Gambar 1. Plat Baja SS 400

Pengelasan menurut DIN (Deutch Industrie Normen) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat di jabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekan dan dengan atau tanpa logam

tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. [8]

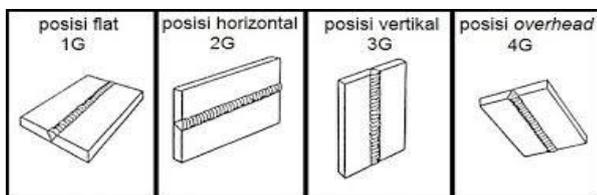
Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (*rol*) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai pelindung busur. Las FCAW adalah proses otomatis yang memanfaatkan elektroda wire roll untuk mencairkan logam [3].



**Gambar 2.** Skema Pengelasan FCAW

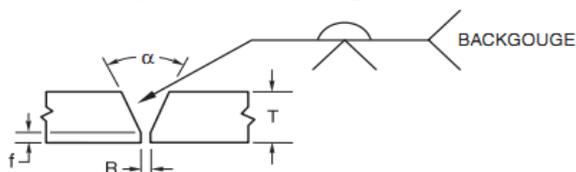
Posisi pengelasan dapat diartikan sebagai posisi seorang juru las terhadap benda yang di las. Secara umum posisi pengelasan ini dibedakan berdasarkan posisi material, jalur las, elektroda dan juru las. Pada keterangan berikut akan disebutkan macam posisi pengelasan beserta gambar.

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

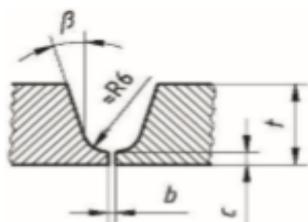


**Gambar 3.** Posisi Pengelasan

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



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



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

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)

Pengujian tarik merupakan pengujian merusak yang dilakukan dengan memberikan gaya tarik pada material yang berlawanan pada benda dengan arah menjauh dari titik tengah, atau dengan memberikan gaya pada salah satu ujung benda dan ujung lainnya yang diikat hingga benda putus dengan tujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis suatu logam dan paduannya, khususnya pada kekuatan tarik material tersebut. [9]

Sifat-sifat yang dihasilkan dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum ( $\sigma$ )

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

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

Dimana,  $\sigma$  adalah Tegangan tarik maksimum (MPa, N/mm<sup>2</sup>), P adalah Beban Maksimum (N), dan A<sub>0</sub> adalah Luas Penampang Mula-mula (mm<sup>2</sup>).

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<sub>i</sub> adalah Panjang sesudah patah (mm), L<sub>0</sub> 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.

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

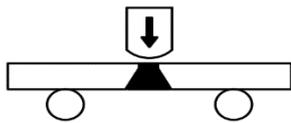
Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa),  $\sigma_y$  adalah Tegangan luluh (KN/mm<sup>2</sup>), dan e adalah Regangan (%). [10]

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas yang dapat dilihat dengan mata telanjang. [11]

Uji tekuk (*bending test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan hasil sambungan las baik di *weld metal* maupun HAZ.

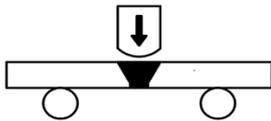
Berdasarkan posisi pengambilan spesimen, uji bending dibedakan menjadi 2 yaitu transversal bending dan longitudinal bending. Pada transversal bending ini, pengambilan spesimen tegak lurus dengan arah pengelasan. Pengujian transversal bending dibagi menjadi tiga :

1. *Face Bend* ( Bending pada permukaan las )



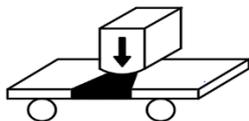
Gambar 6. Skema Uji *Face Bend*

2. *Root Bend* ( Bending pada akar las )



Gambar 7. Skema Uji *Root Bend*

3. *Side Bend* ( Bending pada sisi las )



Gambar 8. Skema Uji *Side Bend*

Pada penelitian ini menggunakan uji tekuk menggunakan posisi *face transversal bending*. Dikatakan *face bend* jika *bending* dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fussion line* (garis perbatasan WM dan HAZ). [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.[12]

## 2.2. Prosedur Penelitian

### 1. Pemotongan Plat

Lembaran plat baja SS 400 dipotong menggunakan mesin potong menjadi dimensi ukuran 300 mm x 120 mm x 10 mm sebanyak 8 lembar yang dibutuhkan untuk spesimen uji tarik dan uji tekuk dan mikrografi.

### 2. Pembuatan Kampuh

Setelah plat dipotong, maka proses selanjutnya adalah pembuatan kampuh las. Sudut kampuh yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah 60° dengan jenis kampuhnya *single V butt-joint* dan *single U butt-joint*.

### 3. Proses Pengelasan

Plat baja yang telah di bentuk sudut kampuhnya lalu di las menggunakan pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan detail sebagai berikut:

- |                      |  |
|----------------------|--|
| a. Jenis pengelasan  | : FCAW   |
| b. Mesin Las         | : MIG PATENT 503   |
| c. Jenis Elektroda   | :AWS A5.20 E71T-1C<br>(1,2 mm)                               |
| d. Logam induk       | : Baja SS 400 (10 mm)  |
| e. Shielded Gas      | : CO2  |
| f. Posisi pengelasan | : 1G dan 2G  |
| g. Sudut kampuh      | : Single V 60° Butt Joint ,<br>Single U 60° Butt Joint       |
| h. Voltage           | : 25 V   |
| i. Ampere            | : V 1G : 100 A<br>U 1G : 100 A<br>V 2G : 95 A<br>U 2G : 95 A |
| j. Travel Speed      | : 13,6 cm/min  |

### 4. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dibuat sesuai ukuran standar ASTM E8, dengan dimensi ukuran 200 mm x 20 mm x 10 mm 20 buah. Sedangkan pembuatan spesimen uji tekuk dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM E190-14, dengan dimensi ukuran 152 mm x 38 mm x 10 mm 20 buah, dan pembuatan spesimen uji mikrografi dibuat dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm 5 buah.

### 5. Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen tarik dan tekuk dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Mesin yang digunakan untuk pengujian tarik 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. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan alat dan bahan yang digunakan untuk membantu proses pengerjaan penelitian ini, adapun alat dan bahannya sebagai berikut:

1. Gerinda
2. Penggaris
3. Amplas
4. Kapur
5. Mesin uji tarik, uji tekuk
6. Mesin uji mikrografi
7. Mesin Las FCAW
8. Baja SS 400
9. Elektroda E71T-1C 1,2 mm



Gambar 9. Gerinda dan Amplas



Gambar 10. Kapur dan Penggaris



Gambar 11. Mesin Uji Tarik dan Tekuk



Gambar 12. Mesin Las FCAW dan Uji Mikro

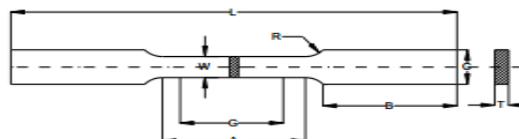


Gambar 13. Baja SS 400 dan Elektroda FCAW

### 2.4. Parameter Penelitian

#### 1. Parameter Tetap

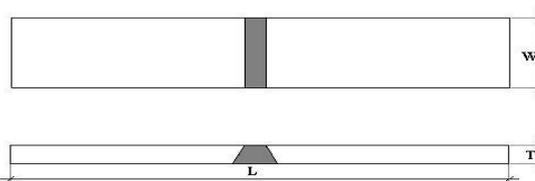
Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja SS 400, tipe pengelasan yang di gunakan adalah pengelasan FCAW, diameter elektroda pengisi 1,2 mm, dan dimensi ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 14. Bentuk Spesimen Uji Tarik [13]

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 15. Bentuk Spesimen Tekuk [14]

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tekuk

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	152 mm
Width (W)	12,5 mm
Thickness (T)	10 mm

#### 2. Parameter Perubahan

Pada penelitian ini parameter perubahan adalah posisi pengelasan, jenis kampuh, pengujian tarik, pengujian tekuk, dan pengujian mikrografi.

### 2.5. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, proses pengelasan FCAW dilakukan di laboratorium las “*INLASTEK WELDING INSTITUTE*” Surakarta. Sedangkan proses pengujian tarik, tekuk, dan mikrografi pada

penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Uji Komposisi Bahan

Uji komposisi bahan sangat penting 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. Hasil yang didapatkan dari proses pengujian adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.** Hasil Uji Komposisi [15]

No	Unsur	Kandungan (%)
1	Fe Ferrum	98,98
2	C Carbon	0,20
3	Si Silikon	0,09
4	Mn Mangan	0,53
5	P Phosporus	0,10
6	Si Sulfur	0,04
7	Cr Chromium	0,03
8	Ni Nickel	0,03

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 yaitu : 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 tugas akhir ini sudah sesuai dengan kriteria baja SS 400 (*Low Carbon Steel*).

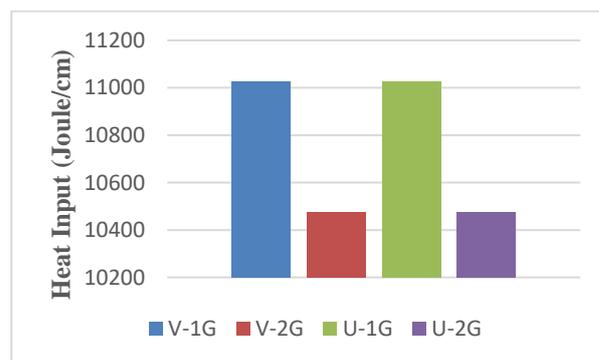
#### 3.2. Hasil Pengelasan

Pada proses pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), dengan mempertimbangkan ketebalan plat dan jenis bevel las yang telah dibuat, maka digunakan jenis elektroda AWS A5.20 E71T-1C 1.2 mm dengan menggunakan kuat arus pada kampuh V posisi pengelasan 1G sebesar 105 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,6 cm/menit, kampuh V posisi 2G sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,6 cm/menit, kampuh U posisi 1G sebesar 105 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,6 cm/menit, dan kampuh U posisi 2G sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,6 cm/menit. voltase sebesar 25 volt untuk semua posisi pengelasan.

#### 3.3. Masukan Panas (*Heat Input*)

Berdasarkan pengelasan yang telah dilakukan menggunakan las FCAW dengan menggunakan posisi 1G, 2G, dan kampuh V, U didapatkan hasil masukan panas (*heat input*) yang berbeda pada masing-masing pengelasan, yang dapat diketahui sebagai berikut :

- Kampuh V Posisi 1G =  $\frac{60 \times 25v \times 100A}{13,6 \text{ cm/menit}}$   
= 11029 Joule/cm
- Kampuh V Posisi 2G =  $\frac{60 \times 25v \times 95A}{13,6 \text{ cm/menit}}$   
= 10478 Joule/cm
- Kampuh U Posisi 1G =  $\frac{60 \times 25v \times 100A}{13,6 \text{ cm/menit}}$   
= 11029 Joule/cm
- Kampuh U Posisi 2G =  $\frac{60 \times 25v \times 95A}{13,6 \text{ cm/menit}}$   
= 10478 Joule/cm



**Gambar 16.** Grafik Heat Input Pengelasan

#### 3.4. Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 18 Mei 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan menggunakan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi jenis 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 jenis kampuh dan posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

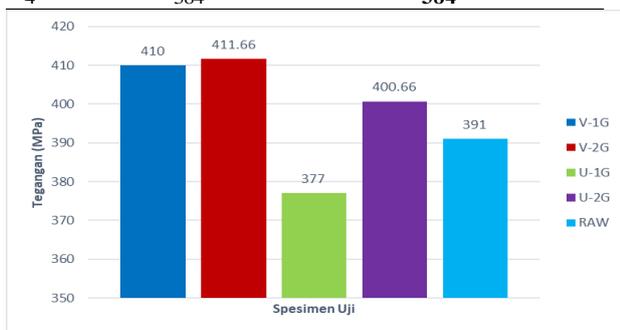
**Tabel 4.** Data hasil pengujian tegangan Tarik

No	Spesimen	P Max (KN)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	$\sigma$ Max (MPa)	$\sigma$ Max Rata-rata (MPa)
1	Kampuh V	56,12	9,89	14,23	399	404,75
2	Posisi 1G	50,21	10,42	12,40	389	
3		55,34	9,54	13,85	419	
4		52,72	9,95	12,87	412	
1	Kampuh V	51,16	9,66	12,97	408	406,75
2	Posisi 2G	58,59	9,95	14,23	414	
3		58,28	10,22	14,53	392	
4		58,76	9,82	14,48	413	
1	Kampuh U	56,36	10,40	13,96	388	384,5
2	Posisi 1G	57,17	10,45	14,66	373	
3		55,87	9,64	14,24	407	
4		52,63	10,04	14,15	370	
1	Kampuh U	49,64	9,61	13,20	391	407
2	Posisi 2G	55,26	9,92	14	398	
3		55,42	9,84	13,23	426	
4		56,36	9,87	13,84	413	
1	RAW	55,67	9,87	14,41	391	389,3
2		55,62	9,9	14,35	392	
3		54,7	9,86	14,22	390	
4		53,16	9,85	14,05	384	

Kemudian di lakukan uji statistik untuk mengetahui data yang diluar dari margin error. Pada uji statistik menggunakan standar deviasi sebagai acuan. Berdasarkan uji statistik maka data yang didapat sebagai berikut:

**Tabel 5.** Data pengujian statistik tegangan tarik

No	Spesimen	$\sigma$ Max (MPa)	$\sigma$ Max Rata-rata	Standar Deviasi	$\sigma$ Max deviasi (MPa)	$\sigma$ Max Deviasi Rata-rata
1	Kampuh V	399	404,75	13,55	399	410,00
2	Posisi 1G	389			<b>389</b>	
3		419			419	
4		412			412	
1	Kampuh V	408	406,75	10,17	408	411,66
2	Posisi 2G	414			414	
3		392			<b>392</b>	
4		413			413	
1	Kampuh U	388	384,5	16,94	388	377,00
2	Posisi 1G	373			373	
3		407			<b>407</b>	
4		370			370	
1	Kampuh U	391	407	15,64	391	400,66
2	Posisi 2G	398			398	
3		426			<b>426</b>	
4		413			413	
1	RAW	391	389,3	3,51	391	391
2		392			392	
3		390			390	
4		384			<b>384</b>	



**Gambar 17.** Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Pada uji statistik diatas, spesimen 2 V-1G, spesimen 3 V-2G, spesimen 3 U-1G, spesimen 3 U-2G mengalami penyimpangan nilai dari nilai spesimen yang ada pada variasinya masing-masing. Hal ini di sebabkan karena adanya proses pengelasan yang kurang merata sehingga pada setiap vasiasi terhadap satu spesimen yang memiliki nilai kekuatan yang menyimpang. Dan pada raw material terdapat spesimen 4 yang mengalami penyimpangan nilai, hal ini disebabkan terdapat korosi yang mengakibatkan spesimen 4 raw material mengalami penyimpangan nilai.

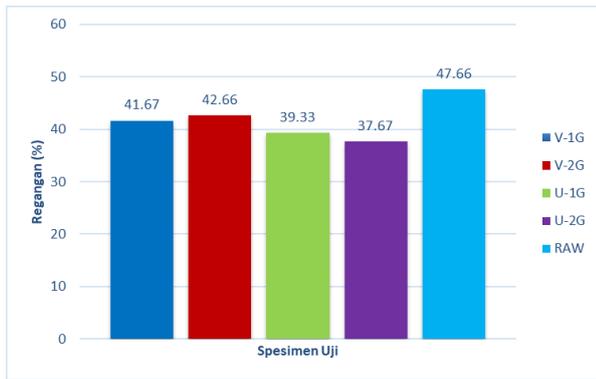
Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja SS 400 dengan kampuh V dan posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 419 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 410 MPa. Material baja SS 400 dengan kampuh V dan posisi pengelasan 2G memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 414 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 411,66 Mpa. Material baja SS 400 dengan kampuh U dan posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 388 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 377 Mpa. Sedangkan material baja SS 400 dengan kampuh U dan posisi pengelasan 2G memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 413 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 400,66 MPa.

## 2. Regangan Tarik

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

**Tabel 6.** Data hasil pengujian regangan tarik

No	Spesimen	Lo (mm)	L1 (mm)	$\Delta$ l (mm)	Regangan an $\epsilon$ (%)	Regangan Rata-rata $\epsilon$ (%)
1	Kampuh V	50	73,11	23,11	46	41.67
2	Posisi 1G	50	69,04	19,04	38	
3		50	70,46	20,46	41	
1	Kampuh V	50	71,56	21,56	43	42,66
2	Posisi 2G	50	72,56	22,56	45	
3		50	70,21	20,21	40	
1	Kampuh U	50	69,89	19,89	40	39,33
2	Posisi 1G	50	70,71	20,71	41	
3		50	68,37	18,37	37	
1	Kampuh U	50	66,84	16,84	34	37,67
2	Posisi 2G	50	69,20	19,20	38	
3		50	70,33	20,33	41	
1	RAW	50	73,41	23,41	47	47,66
2		50	74,22	24,22	48	
3		50	73,94	23,94	48	



Gambar 18. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

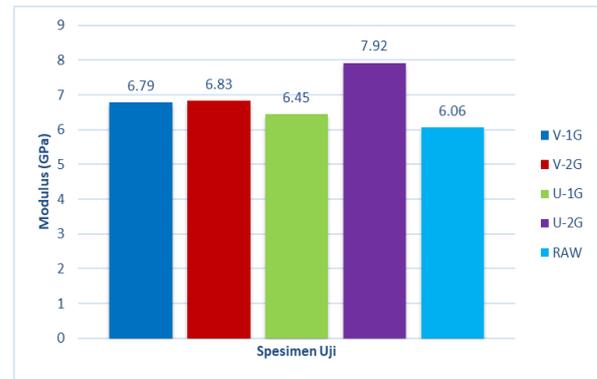
Nilai rata-rata regangan tarik maksimum yang dihasilkan dari material baja SS 400 dengan kampuh V dan posisi pengelasan 1G adalah sebesar 46% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 41,67%, kampuh V dan posisi pengelasan 2G sebesar 45% dengan rata-rata 42,66, kampuh U dan posisi pengelasan 1G sebesar 41% dengan rata-rata 39,33, kampuh U dan posisi pengelasan 2G sebesar 41% dengan rata-rata 37,67%, kampuh U dan posisi pengelasan 2G sebesar 41% dengan nilai rata-rata 37,67%. Dan nilai regangan tarik maksimum yang dihasilkan dari raw material baja SS 400 adalah sebesar 48% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 47,66%,

### 3. Modulus Elastisitas

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai rata rata modulus elastisitas yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan kampuh V dan posisi pengelasan 1G 6,79 GPa, kampuh V dan posisi pengelasan 2G adalah sebesar 6,83 Gpa, kampuh U dan posisi pengelasan 1G adalah sebesar 6,45 GPa, kampuh U dan posisi pengelasan 2G adalah sebesar 7,92 GPa, dan raw material adalah sebesar 6,06 GPa.

Tabel 7. Data hasil modulus elastisitas

No	Spesimen	$\sigma_y$ (MPa)	Regangan $\epsilon$ (%)	E (MPa)	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
1	Kampuh V	282	46	6130,43	6,13	6,79
2	Posisi 1G	304	38	7051,28	7,05	
3		295	41	7195,12	7,20	
1	Kampuh V	310	43	7209,30	7,21	6,83
2	Posisi 2G	286	45	6355,55	6,36	
3		277	40	6925,00	6,93	
1	Kampuh U	256	40	6400,00	6,40	6,45
2	Posisi 1G	255	41	6219,51	6,22	
3		283	37	6750,00	6,75	
1	Kampuh U	297	34	8735,29	8,74	7,92
2	Posisi 2G	265	38	7581,39	7,58	
3		306	41	7463,41	7,46	
1	RAW	295	47	6103,63	6,10	6,06
2		296	48	6074,56	6,07	
3		291	48	5997,70	6,00	



Gambar 19. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4, maka sambungan las dengan kampuh U dan posisi pengelasan 2G memiliki modulus elastisitas yang lebih besar dibandingkan dengan posisi pengelasan dan jenis kampuh yang lainnya.

### 3.5. Hasil Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Pengujian tekuk dilakukan menggunakan standar uji ASTM E190-14 pada tanggal 18 Mei 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Pengujian ini menggunakan spesimen sebanyak 20 spesimen maka didapatkan hasil pengujian tekuk sebagai berikut :

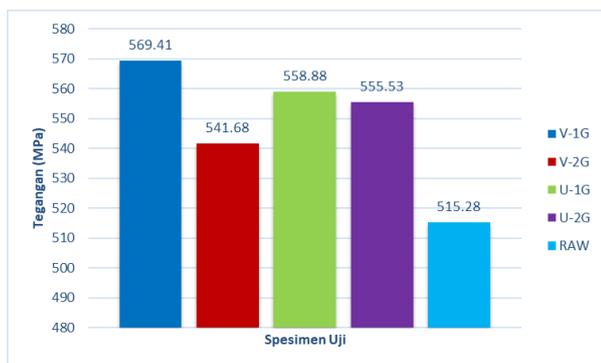
Tabel 8. Data Hasil Uji Tekuk

No	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Beban Max (KN)	Tegangan Bending (MPa)	$\Delta L$ Pmax (mm)	Rata-Rata
1	Kampuh V	39,41	10,72	38,27	570,38	21,20	589,34
2	Posisi 1G	38,80	10,32	39,74	649,14	22,35	
3		37,93	10,67	37,06	579,29	18,94	
4		39,01	10,68	36,82	558,56	23,35	558,28
1	Kampuh V	38,17	10,70	34,79	537,36	18,71	
2	Posisi 2G	39,03	10,49	38,69	608,07	23,17	
3		38,86	10,62	35,52	547,05	20,22	
4		37,88	10,58	33,96	540,62	19,95	569,10
1	Kampuh U	38,76	10,55	35,93	562,18	21,80	
2	Posisi 1G	38,19	10,12	34,75	599,72	23,27	
3		39,08	10,47	36,33	572,43	22,18	
4		38,32	10,78	35,76	542,05	19,72	569,95
1	Kampuh U	37,85	10,62	36,20	572,40	19,23	
2	Posisi 2G	38,08	10,36	37,13	613,21	21,56	
3		37,98	10,55	33,50	534,92	20,18	
4		37,81	10,80	36,54	559,27	22,30	520,67
1	RAW	39,75	9,92	31,11	536,84	28,11	
2		40,78	10,21	32,07	509,22	28,56	
3		39,39	10,16	31,54	523,59	28,78	
4		39,73	10,40	32,66	513,02	29,05	

Untuk mengetahui kebenaran dari data tersebut perlu dilakukan uji statistik pada data diatas. Pada uji statistik digunakan standar deviasi sebagai acuan. Berdasarkan uji statistik maka data yang didapat sebagai berikut:

**Tabel 9.** Data Pengujian Statistik Uji Tekuk

No	Spesimen	Tegangan Bending (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi	Tegangan Bending (MPa)	Rata-rata Tegangan Bending Deviasi
1	Kampuh V	570,38	589,34	40,76	570,38	569,41
2	Posisi 1G	649,14			<b>649,14</b>	
3		579,29			579,29	
4		558,56			558,56	
1	Kampuh V	537,36	558,28	33,44	537,36	541,68
2	Posisi 2G	608,07			<b>608,07</b>	
3		547,05			547,05	
4		540,62			540,62	
1	Kampuh U	562,18	569,10	23,72	562,18	558,88
2	Posisi 1G	599,72			<b>599,72</b>	
3		572,43			572,43	
4		542,05			542,05	
1	Kampuh U	572,40	569,95	32,75	572,40	555,53
2	Posisi 2G	613,21			<b>613,21</b>	
3		534,92			534,92	
4		559,27			559,27	
1	RAW	536,84	520,67	12,38	<b>536,84</b>	515,28
2		509,22			509,22	
3		523,59			523,59	
4		513,02			513,02	



**Gambar 20.** Nilai Rata-rata Tegangan Tekuk

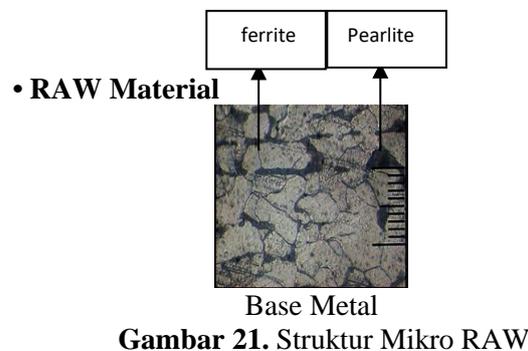
Dari pengujian tekuk yang telah dilakukan pada sambungan baja SS 400, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 20. terlihat pada baja SS 400 dengan kampuh V dan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*) memiliki nilai kekuatan tekuk yang lebih baik dari pada posisi pengelasan yang lainnya yaitu sebesar 569,41 Mpa, kemudian kampuh U dan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*) sebesar 558,88 Mpa dan kampuh U dengan posisi pengelasan 2G (*Horizontal*) sebesar 555,53 Mpa lalu kampuh V dengan posisi pengelasan 2G (*Horizontal*) sebesar 541,68. Berdasarkan hasil pengujian tekuk pada penelitian tugas akhir ini didapatkan bahwa sambungan las dengan kampuh V posisi pengelasan 1G memiliki kekuatan tekuk lebih besar dari pada sambungan las dengan kampuh V posisi 2G, kampuh U posisi 1G, kampuh U posisi 2G.

### 3.6. Struktur Mikro

Pengujian mikrografi pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur

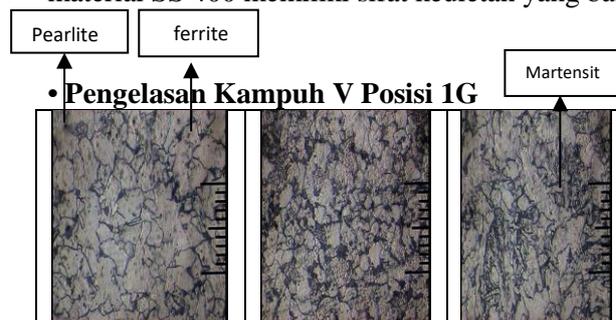
mikro pada sambungan las baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi kampuh dan variasi posisi pengelasan sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro.

Dari hasil pengujian struktur mikro sambungan las baja SS 400 didapatkan hasil sebagai berikut :



**Gambar 21.** Struktur Mikro RAW

Pada raw material terdapat fasa *ferrite* sebesar 80% ditunjukkan dengan warna putih sedangkan fasa *pearlite* sebesar 20% ditunjukkan dengan warna hitam (gelap). Dengan demikian raw material SS 400 memiliki sifat keuletan yang baik.



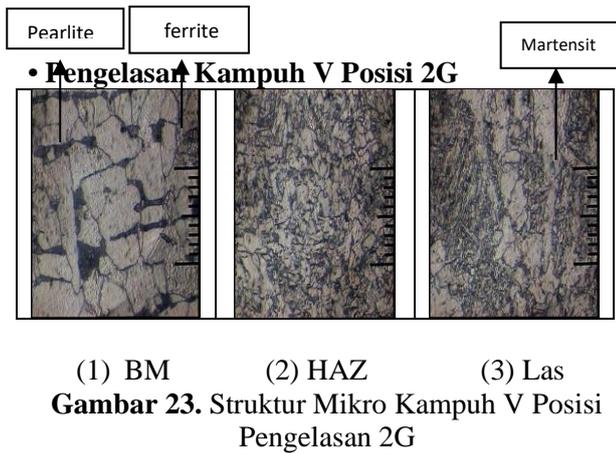
(1) BM (2) HAZ (3) Las

**Gambar 22.** Struktur Mikro Kampuh V Posisi Pengelasan 1G

Pada pengelasan kampuh V posisi 1G, pada BM (*Base Metal*) memiliki banyak fasa *ferrite* dari pada fasa *pearlite* dengan persentase 85% fasa *ferrite* dan 15% fasa *pearlite* sehingga memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) memiliki didominasi dengan fasa *ferrite* 70% dan fasa *pearlite* sebesar 30%. Hal ini menyebabkan pada daerah HAZ memiliki keuletan yang baik tetapi kekuatan rendah.

Pada daerah las terbentuk fasa *martensit* sebesar 72% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut dan *ferrite* sebesar 28%. Hal ini menyebabkan daerah las memiliki sifat yang keras tetapi getas.

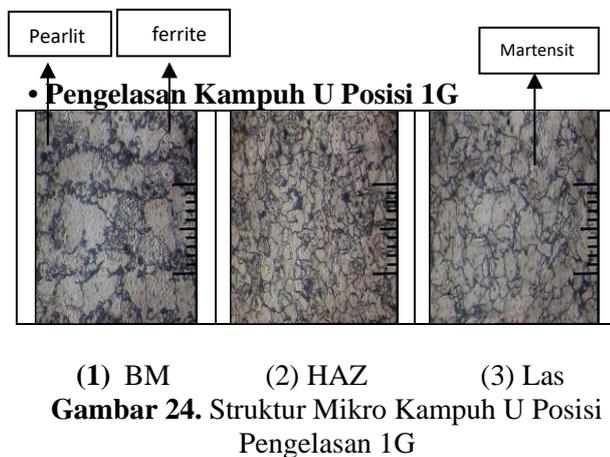


**Gambar 23.** Struktur Mikro Kampuh V Posisi Pengelasan 2G

Pada pengelasan kampuh V posisi 2G, pada BM (*Base Metal*) memiliki banyak fasa *ferrite* dari pada fasa *pearlite*nya dengan persentase 80% fasa *ferrite* dan 20% fasa *pearlite* sehingga memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) memiliki didominasi dengan fasa *ferrite* 75% dan fasa *pearlite* sebesar 25%. Hal ini menyebabkan pada daerah HAZ memiliki keuletan yang baik tetapi kekuatan rendah.

Pada daerah las terbentuk fasa *martensit* sebesar 78% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut dan *ferrite* sebesar 22%. Hal ini menyebabkan daerah las memiliki sifat yang keras tetapi getas.



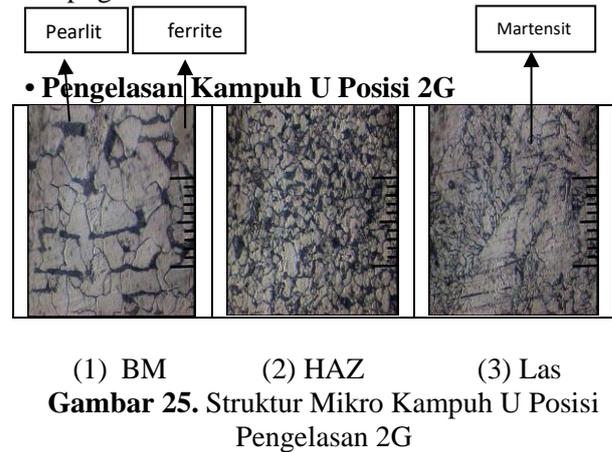
**Gambar 24.** Struktur Mikro Kampuh U Posisi Pengelasan 1G

Pada pengelasan kampuh U posisi 1G, pada BM (*Base Metal*) memiliki banyak fasa *ferrite* dari pada fasa *pearlite*nya dengan persentase 85% fasa *ferrite* dan 15% fasa *pearlite* sehingga memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) memiliki didominasi dengan fasa *ferrite* 77% dan fasa *pearlite* sebesar 23%. Hal ini menyebabkan pada daerah HAZ memiliki keuletan yang baik tetapi kekuatan rendah.

Pada daerah las terbentuk fasa *martensit* sebesar 67% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut dan *ferrite* sebesar 33%. Hal ini

menyebabkan daerah las memiliki sifat yang keras tetapi getas.



**Gambar 25.** Struktur Mikro Kampuh U Posisi Pengelasan 2G

Pada pengelasan kampuh U posisi 2G, pada BM (*Base Metal*) memiliki banyak fasa *ferrite* dari pada fasa *pearlite*nya dengan persentase 80% fasa *ferrite* dan 20% fasa *pearlite* sehingga memiliki keuletan yang baik.

Pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) memiliki didominasi dengan fasa *ferrite* 70% dan fasa *pearlite* sebesar 30%. Hal ini menyebabkan pada daerah HAZ memiliki keuletan yang baik tetapi kekuatan rendah.

Pada daerah las terbentuk fasa *martensit* sebesar 72% yang ditandai dengan bentuk seperti jarum atau serabut dan *ferrite* sebesar 28%. Hal ini menyebabkan daerah las memiliki sifat yang keras tetapi getas.

Berdasarkan hasil dari pengujian mikrografi yang telah dilakukan, dapat diambil hasil bahwa sambungan las baja SS 400 dengan pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan kampuh V posisi pengelasan 2G memiliki sifat kekerasan lebih tinggi dikarenakan pada hasil foto mikrografi daerah lasan kampuh V posisi 2G memiliki fasa *pearlite* berwarna hitam gelap dan fasa *martensit* yang lebih banyak dibandingkan yang lainnya, diikuti dengan daerah lasan kampuh U posisi 2G, lalu daerah lasan kampuh V posisi 1G, dan terakhir daerah lasan kampuh U posisi 1G.

### 3.7. 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 C “(*Flux-Cored*) Wire-Gas Combination and Flux-Cored Wire Electrodes for Semi-Mechanized Welding of Hull Structural Steels” baja karbon rendah SS 400 harus mempunyai standar nilai kuat tarik (*Tensile Strength*) yaitu 400-560 MPa. [16]

**Tabel 10.** Hasil perbandingan kekuatan tarik baja SS 400 terhadap *Rule* BKI

No Spesimen	Standar Kekuatan Tarik BKI (Mpa)	Hasil Pengujian (Mpa)
1	V-1G	410,00
2	V-2G	411,66
3	U-1G	377,00
4	U-2G	400,66
5	RAW	391,00

Berdasarkan tabel diatas nilai kekuatan tarik yang dihasilkan pada pengujian yang dilakukan pada sambungan las baja SS 400 menggunakan jenis las FCAW, yang memenuhi standar BKI adalah pengelasan kampuh *single V butt-joint* posisi pengelasan 1G, pengelasan kampuh *single V butt-joint* posisi pengelasan 2G, dan pengelasan kampuh *single U butt-joint* posisi pengelasan 2G. Sedangkan pengelasan kampuh *single U butt joint* posisi pengelasan 1G dan Raw material mendekati standar BKI.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan pengujian tarik, tekuk, dan mikrofografi pada sambungan las baja SS 400 menggunakan kampuh V posisi pengelasan 1G (*down hand*), Kampuh V posisi pengelasan 2G (*horizontal*), kampuh U posisi pengelasan 1G (*down hand*), dan kampuh U posisi 2G (*horizontal*) adalah sebagai berikut :

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum tertinggi yang dihasilkan dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah kampuh V posisi 2G yaitu 411,66 MPa dengan kampuh V posisi 1G adalah 410 MPa, kampuh U posisi 1G adalah 377 MPa, kampuh U posisi 2G adalah 400,66 Mpa, dan Raw material yaitu 391 MPa.

Rata-rata regangan tarik tertinggi dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah Raw material yaitu 47% dengan kampuh V posisi pengelasan 1G adalah 41,67%, kampuh V posisi pengelasan 2G 42,66%, kampuh U posisi pengelasan 1G 39,33%, dan kampuh U posisi pengelasan 2G 37,67%.

Rata-rata modulus elastisitas tertinggi dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) adalah kampuh U posisi 2G yaitu 7,92 GPa dengan kampuh V posisi pengelasan 1G sebesar 6,79 GPa, kampuh V posisi pengelasan 2G sebesar 6,83 GPa, kampuh U posisi pengelasan 1G sebesar 6,45 GPa, dan Raw material sebesar 6,06 GPa.

Tegangan tekuk tertinggi diperoleh pada kampuh V posisi pengelasan 1G sebesar 569,41 Mpa dan memiliki sifat yang paling ulet dibandingkan vasiasi yang lainnya, ampuh V posisi pengelasan 2G sebesar 541,68 MPa, kampuh U

posisi pengelasan 1G sebesar 558,88 MPa, kampuh U posisi pengelasan 2G sebesar 555,53 MPa, dan Raw material sebesar 515,28 MPa.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Primasatya, A. F. 2009. *Pengukuran Besarnya Distorsi Angular dan Tegangan Sisa Pada Baja JIS G3101-SS 400 dengan Menggunakan Proses Pengelasan FCAW.*
- [2] Jokosisworo, Sarjito. 2010. *Pengaruh Perbedaan Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan T-Joint Pengelasan Fillet Dengan Las FCAW Pada Plat Mild Steel.* Jurnal Perkapalan Vol. 7, No 2. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [3] Dora, R. S. P., 2011. *Analisa Kekuatan Material SS400 Pengaruh Preheat dan PWHT dengan menggunakan Metode Simulasi dan Uji tarik.*
- [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] 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.
- [6] Duniawan, Agus. 2015. *Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan Dari Hasil Las Baja SSC 41.* Jurnal Teknologi. Vol. 8, No 2. Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta.
- [7] Fridayan, Robby Nur, Herman Pratikno dan Hasan Ikhwan. 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.
- [8] Wiryoso, H. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam.* Cetakan ke-7. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [9] Susetyo, F. B., Syaripuddin, & Hutomo, S. (2013). *Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG.* *Jurnal Mechanical*, 4(2), 13.
- [10] Yuwono, A. H. 2009. *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing).* Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [11] Setiaji, R. 2009. *Pengujian Tarik.* Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI.

- [12] *Metallography and Microstructure*. 2004. ASM Metals Handbook, Vol 9.
- [13] ASTM E8/E8M-09. 2009. *Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*. USA.
- [14] ASTM E190-14. 2014. *Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds*.
- [15] 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
- [16] Biro Klasifikasi Indonesia, 2013, “*Rules for the Classification and Construction: Volume VI Rules for Welding*”, Jakarta.