



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 *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) Dengan Variasi Suhu Normalizing

Abrar Farhan<sup>1)</sup>, Untung Budiarto<sup>2)</sup> Ari Wibawa Budi Santosa<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*e-mail : [f.abrar@yahoo.co.id](mailto:f.abrar@yahoo.co.id), [budiartountung@gmail.com](mailto:budiartountung@gmail.com), [arikapal75@gmail.com](mailto:arikapal75@gmail.com)

### Abstrak

Proses perlakuan panas normalizing dilakukan pada baja SS400 yang merupakan baja tipe low carbon pada variasi suhu pemanasan 900°C dan 975°C dengan penahan panas 30 menit dengan media pendingin udara. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil kekuatan tarik, tekuk, dan mikrografi dari variasi suhu pemanasan dengan menggunakan media pendinginan udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor suhu pemanasan berpengaruh dalam nilai tarik, nilai tekuk, dan struktur mikrografi spesimen penelitian. Pada spesimen dengan suhu pemanasan 900°C didapatkan nilai kekuatan tarik 397.52 MPa, nilai regangan 40.15% dan nilai modulus elastisitas 10.18 GPa. Sedangkan pada spesimen dengan suhu pemanasan 975°C didapatkan nilai tegangan maksimal 377.78 MPa, nilai regangan sebesar 48.125% dan nilai modulus elastisitas 8.07 GPa. Pada pengujian tekuk spesimen dengan suhu pemanasan 900°C mempunyai nilai tegangan tekuk 515 MPa sedangkan spesimen dengan suhu pemanasan 975°C mempunyai nilai nilai tegangan tekuk 473.7 MPa. Dari hasil pengujian tarik dan tekuk didapatkan bahwa spesimen dengan variasi suhu pemanasan 900°C memiliki nilai kekerasan dan nilai tegangan maksimal lebih besar dari variasi suhu pemanasan 975°C. Pada perlakuan panas normalizing dengan variasi 975°C struktur mikrografinya menunjukkan fasa ferrite lebih dominan, dibandingkan variasi suhu normalizing 900°C

Kata Kunci : Baja SS 400, Pengelasan FCAW, Normalizing, Tarik, Tekuk, Mikrografi

### 1. PENDAHULUAN

Di dalam dunia engineering penggunaan baja untuk proses manufaktur ataupun konstruksi terutama di bidang perkapalan sangatlah penting. Salah satunya material Baja SS 400 yang merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon rendah (Low Carbon Steel) yaitu dibawah 0,3 % dimana komposisi kimianya hanya terdapat Carbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Pospor (P) dan biasanya digunakan untuk aplikasi struktur/konstruksi umum (General Purpose Structural Steel) misalnya pada konstruksi lambung kapal, pelat kapal laut, oil tank dll.

Dalam bidang perkapalan baja untuk konstruksi lambung biasanya mengandung 0,15-0,23% kandungan unsur karbon. Baja untuk setiap kapal digolongkan oleh badan klasifikasi dan

dalam pembuatan suatu konstruksi proses pengelasan memiliki peranan yang sangatlah penting dalam hal ini.

Proses perlakuan panas memiliki tujuan untuk memperoleh bahan yang memiliki kekuatan keras, lunak, ulet, dan menghilangkan tegangan sisa. Perlakuan panas yang dilakukan sering disebut sebagai cara untuk menaikkan kekerasan bahan, sebenarnya dapat digunakan juga untuk mengubah sifat yang berguna atau dengan kepentingan tertentu untuk keperluan pengguna, seperti: menaikkan sifat mudah dibentuk, mengembalikan elastisitas setelah proses cold work. Bahkan perlakuan panas bukan hanya mengubah sifat material, tapi juga mampu meningkatkan performa material dengan meningkatnya kekuatan atau karakteristik tertentu dari material yang telah diproses perlakuan panas. [1]

Normalizing baja adalah proses pemanasan baja ke daerah austenite sehingga diperoleh struktur mikro austenite, dan selanjutnya didinginkan di udara normal hingga temperature kamar. Dengan demikian struktur dalam material yang telah berubah akibat perlakuan mekanik (pembebanan), ataupun karena bekerja pada temperatur tinggi atau rendah dikembalikan ke struktur yang normal lewat proses normalizing.[2]

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 konstruksi kapal, seperti pada konstruksi lambung kapal.

Las *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) 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]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang perlakuan *normalizing* dengan suhu 880°C terhadap baja ST46 dengan variasi waktu penahanan panas (*holding time*) 20 menit dan 40 menit yang menunjukkan hasil bahwa kekuatan tarik maksimal yang dihasilkan sebesar 334,61MPa menggunakan *holding time* 20 menit.[1]

Pada penelitian lainnya tentang sambungan las baja ST42 menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi posisi pengelasan 1G, 2G, 3G, 4G menunjukkan kekuatan tarik maksimal dihasilkan sebesar 419,88MPa menggunakan posisi pengelasan 1G.[4]

Penelitian lainnya tentang perlakuan *normalizing* pada baja DIN 42MnV7 dengan suhu 870°C dan waktu tahan 20 menit yang menunjukkan hasil bahwa kekuatan tarik yang dihasilkan sebesar 118082,19 psi dan kekerasan sebesar 38,33 HRC.[2]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan FCAW dan diberi perlakuan panas *normalizing* dengan variasi suhu dengan pengujian tarik, tekuk dan mikrografi sehingga dapat diketahui jenis perlakuan panas yang tepat pada baja SS 400 yang akan digunakan sebagai rangka konstruksi.

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah observasi hasil uji kekuatan tarik, tekuk yang terjadi pada material baja SS 400 setelah pengelasan dan setelah *normalizing*, observasi struktur mikro pada material baja SS 400 setelah pengelasan dan setelah *normalizing*, dan juga untuk observasi pengaruh perbedaan suhu *normalizing* terhadap ketahanan uji tarik, tekuk, dan struktur mikro pada material baja SS 400

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penelitian tugas akhir ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan adalah Logam Baja yang digunakan adalah tipe baja SS 400, Jenis pengelasan menggunakan metode FCAW, Pelat Baja di las dengan posisi 1G (*Down Hand*), sambungan las menggunakan jenis sambungan *single V-Butt joint* dengan sudut 60°, suhu *normalizing* yang digunakan adalah suhu 900°C dan 975°C, lama waktu tahan yang digunakan dalam proses *normalizing* adalah 30 menit, pengujian material dilakukan di bagian sambungan las, logam pengisi/elektroda (*Filler metal*) yaitu AWS A5.20 E71T-1C, uji material yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji tekuk, dan mikrografi, pengujian tarik di laboratorium dengan standar ASTM E8 1,2 mm, pengujian tekuk di laboratorium dengan standar ASTM E190-14, pengujian di laboratorium menggunakan sampel dengan 27 buah specimen yang terdiri dari 9 spesimen setiap variasi suhu, penelitian hanya dilakukan dengan pengujian tanpa analisis dengan *software*, 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, tekuk dan perubahan struktur mikro pada material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan FCAW dan diberi perlakuan panas *normalizing* dengan variasi suhu pemanasan.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Pengumpulan Data

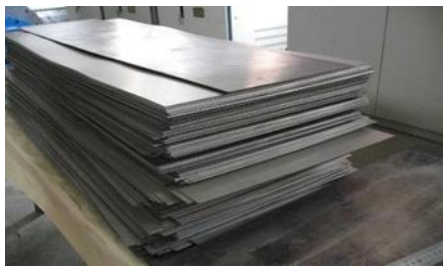
Pengumpulan data diperoleh dari jurnal, buku-buku referensi, modul, artikel, internet, dan studi lapangan secara langsung.

Objek yang diteliti pada penelitian tugas akhir 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.

Tabel 1. Komposisi Baja SS400

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



Gambar 1. Plat Baja SS 400

## 2.2 Sifat Mekanik Baja

- Kekerasan (*Hardness*) adalah kemampuan bahan untuk bertahan terhadap goresan, pengikisan, dan penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai hubungan dengan kekuatan.
- Kekuatan (*Strength*) dapat dimaksudkan sebagai kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan tergantung pada beban yang bekerja seperti kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.
- Kekenyalan (*Elasticity*) adalah kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk permanen setelah tegangan dihilangkan. Kekenyalan juga menjelaskan seberapa banyak perubahan bentuk yang permanen yang nantinya akan terjadi, maksudnya kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk serta ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan perubahan bentuk.
- Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau defleksi. Untuk

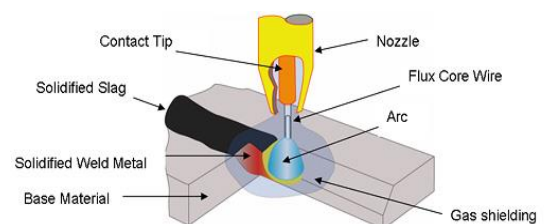
beberapa hal kekakuan ini biasanya lebih penting daripada kekuatan.

- Plastisitas (*plasticity*) maksudnya adalah kemampuan bahan untuk mengalami deformasi plastis yang permanen tanpa terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti rolling, extruding dan sebagainya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan (*ductility*).
- Ketangguhan (*toughness*) adalah kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa terjadinya kerusakan. Dan juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk membuat benda kerja patah pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
- Kelelahan (*fatigue*) adalah kecenderungan dari logam untuk patah apabila menerima tegangan yang berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Kelelahan merupakan sifat yang sangat penting tetapi sifat ini sulit diukur karena memiliki banyak faktor lainnya.

## 2.3 Pengelasan

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.[5]

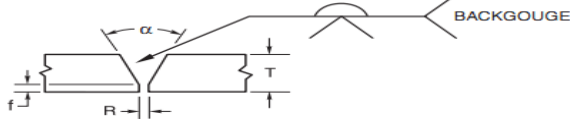
Pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) merupakan las busur gas yang menggunakan kawat las sekaligus sebagai elektroda. Elektroda tersebut berupa gulungan kawat (*rol*) yang gerakannya diatur oleh motor listrik. Las ini menggunakan gas CO<sub>2</sub> sebagai pelindung busur. Las FCAW adalah proses otomatis yang memanfaatkan elektroda wire roll untuk mencairkan logam.[6]



Gambar 2. Skema Pengelasan FCAW

## 2.4 Sambungan Las

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



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

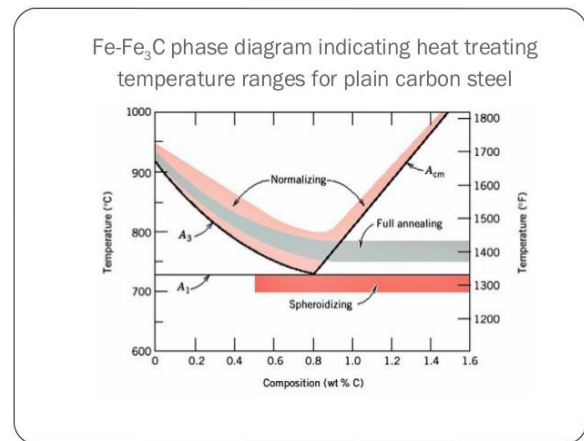
Kualitas dari sambungan las sangat menentukan kekuatan dari hasil sambungan las tersebut. Pengelasan yang baik akan menghasilkan kualitas sambungan dan masukan panas (*heat input*) yang baik. Masukan panas (*heat input*) dalam pengelasan ditentukan oleh beberapa parameter pengelasan diantaranya adalah 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).

## 2.5 Diagram Fasa FE3 – C

Diagram kesetimbangan besi karbon adalah diagram yang menjelaskan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fase selama proses pendinginan atau pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini juga merupakan dasar pemahaman untuk semua proses perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa ialah untuk memudahkan pengguna untuk memilih temperatur pemanasan yang sesuai dengan setiap proses perlakuan panas baik proses annealing, normalizing maupun proses pengerasan.



Gambar 5. Diagram Fe3-C

## 2.6 Heat Treatment

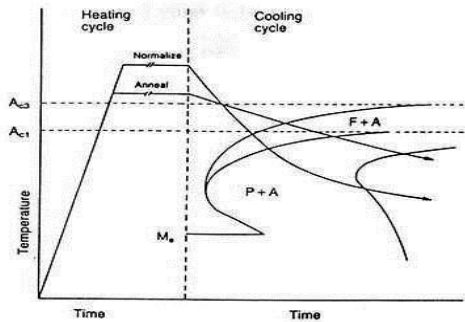
Perlakuan panas atau *Heat Treatment* bertujuan meningkatkan nilai keuletan, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan ukuran butir kristal serta meningkatkan kekerasan maupun tegangan tarik bahan [7]. Beberapa faktor yang mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan (*holding time*), laju pendinginan dan lingkungan. Perlakuan panas adalah gabungan proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam maupun paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

- *Normalizing*

*Normalizing* adalah proses perlakuan panas dimana proses pemanasan mencapai temperatur, kemudian didinginkan perlahan dengan menggunakan media pendingin udara [8]. *Normalizing* baja adalah proses pemanasan baja ke fase austenite sehingga diperoleh struktur mikro austenite, selanjutnya didinginkan dengan media pendingin udara normal hingga suhu kamar. Sehingga struktur dalam material yang telah berubah akibat perlakuan mekanik, ataupun karena bekerja pada temperatur tinggi atau rendah dapat dikembalikan ke struktur yang normal lagi melalui proses *normalizing*. [1]

Baja dipanaskan diatas suhu kritis, kemudian setelah mencapai suhu kritisnya baja ditahan (*holding*) pada suhu tersebut, dan yang terakhir baja didinginkan, pendinginannya sesuai dengan suhu kamar, yaitu didinginkan hingga suhu kurang lebih 270C, lama pendinginan inilah yang sangat mempengaruhi sifat mekanik dari baja, semakin cepat pendinginannya maka akan menghasilkan baja dengan sifat mekanik berupa

kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, dan jika pendinginannya lambat maka akan terjadi hal yang sebaliknya.[1]



Gambar 6. Proses Normalizing

## 2.7 Pengujian Tarik

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. [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.

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

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa),  $\sigma$  adalah Tegangan Maksimum (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.

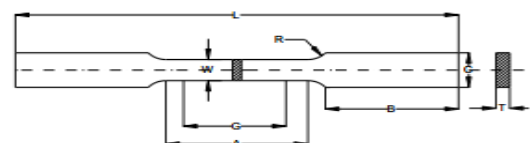
Agar mendapatkan hasil maksimal maka penelitian ini menggunakan pengujian *face transversal bending*. Dikatakan *face bend* jika *bending* dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik. Apakah timbul retak atau tidak. Jika timbul retak dimanakah letaknya, apakah di *weld metal*, HAZ atau di *fusion line* (garis perbatasan WM dan HAZ). [10]

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. Parameter Penelitian

### 1. Parameter Tetap

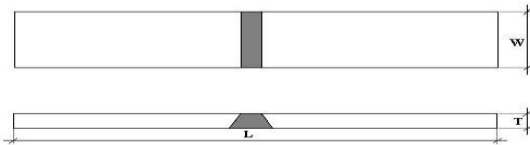
Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja SS 400, tipe pengelasan yang di gunakan adalah pengelasan FCAW, diameter elektroda pengisi 1,2 mm, dan dimensi ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 5. 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 6. 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 m    |

## 2. Parameter Perubahan

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

## 2.3. Lokasi Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, proses pengelasan FCAW dilakukan di laboratorium las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" Surakarta. Pengujian komposisi bahan dilakukan di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper. Sedangkan proses pengujian tarik, tekuk, dan mikrografi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Komposisi Bahan

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.

Tabel 3. Hasil Uji Komposisi

| Unsur |           | Kandungan % |
|-------|-----------|-------------|
| Fe    | Ferrum    | 98,98       |
| C     | Carbon    | 0,200       |
| Si    | Silicon   | 0,09        |
| Mn    | Mangan    | 0,53        |
| P     | Phosporus | 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 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 sesuai dengan kriteria baja SS 400 (*Low Carbon Steel*).[15]

## 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 specimen pertama sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,5 cm/menit, kampuh V posisi 1G specimen kedua sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,5 cm/menit, kampuh V posisi 1G specimen ketiga sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,5 cm/menit, dan kampuh V posisi 1G specimen keempat sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,5 cm/menit. Dan besar voltase sebesar 25 volt untuk semua posisi pengelasan.

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

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

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Heat Input Spesimen} &= \frac{60 \times 25v \times 100A}{13,5 \text{ cm/menit}} \\ &= 11111,11 \text{ Joule/cm} \end{aligned}$$

### 3.3 Heat Treatment

Baja SS400 yang telah dilas dan dibuat specimen sesuai dengan standar ASTM akan diberi perlakuan panas (*heat treatment*) berupa

metode *normalizing* dengan waktu tahan (*holding time*) selama 30 menit dengan variasi suhu sebesar 900°C dan 975°C lalu didinginkan dengan media pendingin berupa udara dan didinginkan sampai dengan suhu ruangan.

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

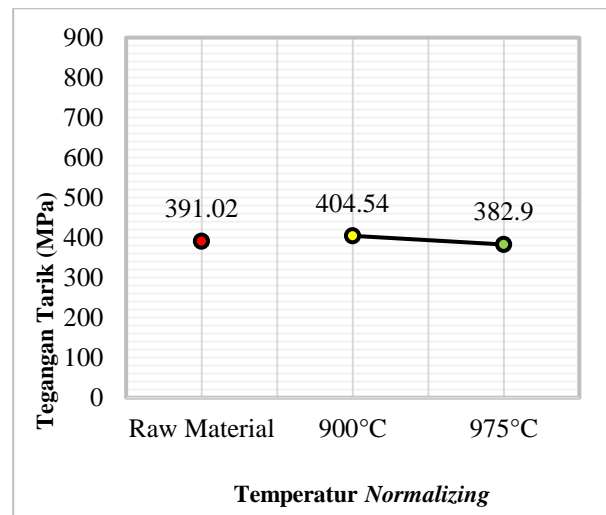
Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 23 Juni 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik adalah nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas, yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan menggunakan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas *normalizing*.

#### 1. Tegangan Tarik

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan variasi suhu *normalizing* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Data hasil pengujian tegangan Tarik

| No. Spesimen | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Pmax (KN) | $\sigma$ Max (MPa) | $\sigma$ Max Rata-Rata (Mpa) |        |
|--------------|------------|------------|-----------|--------------------|------------------------------|--------|
| 1            | 14.41      | 9.87       | 55.67     | 391.00             |                              |        |
| 2            | Raw        | 14.35      | 9.90      | 55.62              | 392.00                       | 389.25 |
| 3            | Material   | 14.22      | 9.86      | 54.70              | 390.00                       |        |
| 4            |            | 14.05      | 9.85      | 53.16              | 384.00                       |        |
| 1            |            | 12.75      | 9.99      | 52.91              | 415.40                       |        |
| 2            | 900°C      | 12.6       | 10.18     | 48.29              | 376.48                       | 397.52 |
| 3            |            | 11.81      | 9.98      | 47.14              | 399.95                       |        |
| 4            |            | 12.53      | 10.23     | 51.05              | 398.26                       |        |
| 1            |            | 13.02      | 9.97      | 49.86              | 384.10                       |        |
| 2            | 975°C      | 12.56      | 10.36     | 49.99              | 384.18                       | 377.78 |
| 3            |            | 12.38      | 10.54     | 49.64              | 380.43                       |        |
| 4            |            | 12.56      | 10.22     | 46.52              | 362.41                       |        |



Gambar 7. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja SS 400 yang tidak diberi perlakuan apapun memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 392 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 389,25 MPa. Material baja SS 400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 415,4 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 397,52 Mpa. Sedangkan material baja SS 400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 384,18 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 377,78 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, hasil sambungan las baja SS 400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit menghasilkan kualitas sambungan las yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen pengujian yang lain. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai kekuatan tarik sebesar 397,52 MPa.

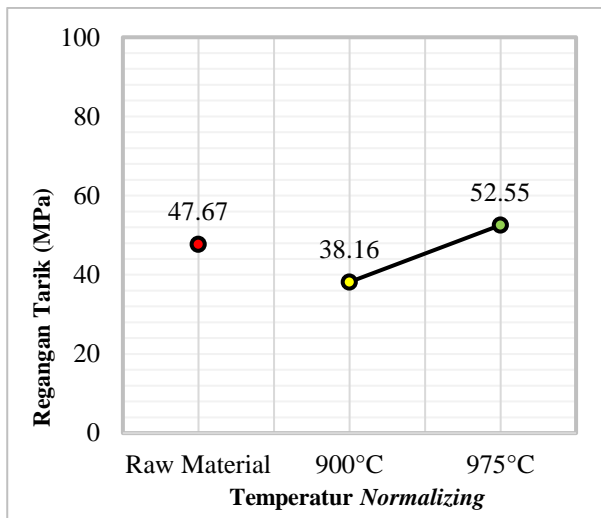
#### 2. Regangan Tarik

Regangan merupakan perubahan relatif ukuran atau bentuk suatu benda yang mengalami tegangan. Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula. Selain itu regangan menjadi tolok ukur seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk.

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 4. Data hasil pengujian regangan tarik

| No. Spesimen | L0 (mm)  | L1 (mm) | Δl (mm) | Regangan ε (%) | Regangan rata-rata ε (%) |       |
|--------------|----------|---------|---------|----------------|--------------------------|-------|
| 1            | 50.00    | 73.41   | 23.41   | 46.82          |                          |       |
| 2            | Raw      | 50.00   | 74.22   | 24.22          | 48.44                    | 49.09 |
| 3            | Material | 50.00   | 73.94   | 23.94          | 47.88                    |       |
| 4            |          | 50.00   | 76.60   | 26.60          | 53.20                    |       |
| 1            |          | 50.00   | 73.61   | 23.61          | 47.22                    |       |
| 2            | 900°C    | 50.00   | 73.07   | 23.07          | 46.14                    | 40.16 |
| 3            |          | 50.00   | 66.08   | 16.08          | 32.16                    |       |
| 4            |          | 50.00   | 67.55   | 17.55          | 35.10                    |       |
| 1            |          | 50.00   | 75.69   | 25.69          | 51.38                    |       |
| 2            | 975°C    | 50.00   | 77.64   | 27.64          | 55.28                    | 48.13 |
| 3            |          | 50.00   | 75.50   | 25.5           | 51.00                    |       |
| 4            |          | 50.00   | 67.42   | 17.42          | 34.84                    |       |



Gambar 8. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 48,44% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 49,09%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 47,22% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 40,16%. Sedangkan nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 55,28% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 48,13%.

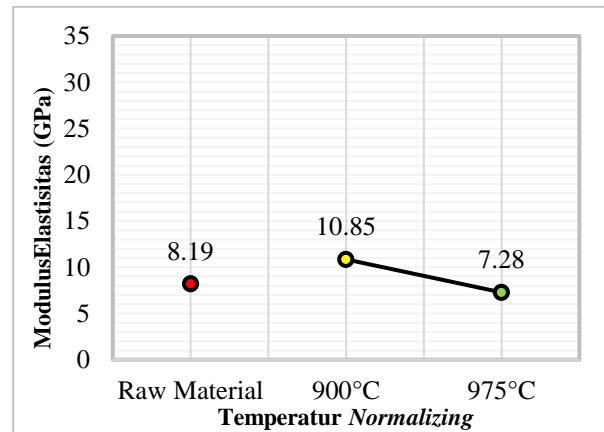
### 3. Modulus Elastisitas

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 8,36 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 7,95 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 12,43 GPa

dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 10,18 GPa. Sedangkan Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 10,4 GPa dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 8,07 GPa.

Tabel 5. Data hasil modulus elastisitas

| No. | Spesimen | σ Max (MPa) | Regangan ε (%) | E (MPa)  | E ε (GPa) | E rata-rata (GPa) |
|-----|----------|-------------|----------------|----------|-----------|-------------------|
| 1   |          | 391.00      | 46.82          | 8351.13  | 8.35      |                   |
| 2   | Raw      | 392.00      | 48.44          | 8092.49  | 8.09      | 7.95              |
| 3   | Material | 390.00      | 47.88          | 8145.36  | 8.15      |                   |
| 4   |          | 384.00      | 53.20          | 7218.05  | 7.22      |                   |
| 1   |          | 415.40      | 47.22          | 8797.03  | 8.80      |                   |
| 2   | 900°C    | 376.48      | 46.14          | 8159.46  | 8.16      | 10.18             |
| 3   |          | 399.95      | 32.16          | 12436.35 | 12.44     |                   |
| 4   |          | 398.26      | 35.10          | 11346.50 | 11.35     |                   |
| 1   |          | 384.10      | 51.38          | 7475.70  | 7.48      |                   |
| 2   | 975°C    | 384.18      | 55.28          | 6949.69  | 6.95      | 8.07              |
| 3   |          | 380.43      | 51.00          | 7459.34  | 7.46      |                   |
| 4   |          | 362.41      | 34.84          | 10402.10 | 10.40     |                   |



Gambar 9. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4, maka sambungan las dengan perlakuan normalizing dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit memiliki sifat yang lebih kaku dan ulet dibandingkan dengan posisi pengelasan yang lainnya.

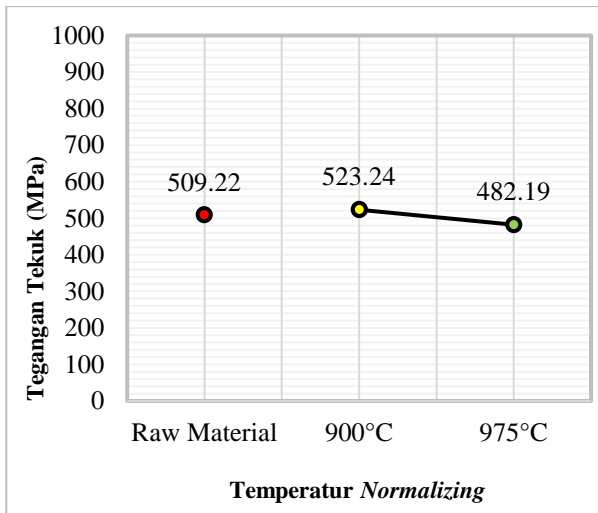
### 3.4 Hasil Pengujian Tekuk (Bending Test)

Pengujian tekuk dilakukan menggunakan standar uji ASTM E190-14 pada tanggal 23 Juni 2019 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Pengujian ini menggunakan spesimen sebanyak 12 spesimen maka didapatkan hasil pengujian tekuk sebagai berikut :

Tabel 6. Data Hasil Uji Tekuk



| No. | Spesimen | Lebar (mm) | Tebal (mm) | Behan Max (KN) | Tegangan Bending (MPa) | $\Delta l$ Pmax (mm) | Rata-rata |
|-----|----------|------------|------------|----------------|------------------------|----------------------|-----------|
| 1   |          | 14.41      | 9.87       | 31.11          | 536.84                 | 28.11                |           |
| 2   | Raw      | 14.35      | 9.90       | 32.07          | 509.22                 | 28.56                | 520.67    |
| 3   | Material | 14.22      | 9.86       | 31.54          | 523.59                 | 28.78                |           |
| 4   |          | 14.05      | 9.85       | 32.66          | 513.02                 | 29.05                |           |
| 1   |          | 12.75      | 9.99       | 27.46          | 518.26                 | 27.46                |           |
| 2   | 900°C    | 12.60      | 10.18      | 28.77          | 533.37                 | 28.77                | 515.00    |
| 3   |          | 11.81      | 9.98       | 27.59          | 490.27                 | 27.59                |           |
| 4   |          | 12.53      | 10.23      | 27.76          | 518.10                 | 27.76                |           |
| 1   |          | 13.02      | 9.97       | 27.69          | 467.48                 | 27.69                |           |
| 2   | 975°C    | 12.56      | 10.36      | 26.76          | 489.87                 | 26.76                | 473.70    |
| 3   |          | 12.38      | 10.54      | 27.08          | 489.22                 | 27.08                |           |
| 4   |          | 12.56      | 10.22      | 26.55          | 448.22                 | 26.55                |           |



Gambar 10. Nilai Rata-rata Tegangan Tekuk

Dari pengujian tekuk yang telah dilakukan pada sambungan baja SS 400, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 10. terlihat pada baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun memiliki nilai kekuatan tekuk yang lebih baik dari pada spesimen diberi perlakuan yang lainnya yaitu sebesar 520,67 Mpa, kemudian disusul dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 515 Mpa dan perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 473,70 Mpa. Berdasarkan hasil pengujian tekuk pada penelitian tugas akhir ini didapatkan bahwa sambungan las dengan tidak diberi perlakuan apapun memiliki kekuatan tekuk lebih besar dari pada sambungan las dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan 975°C dengan waktu tahan yang sama yaitu 30 menit.

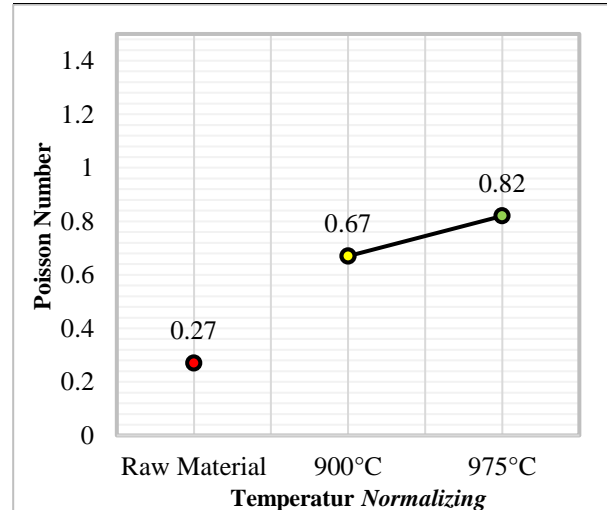
### 3.4 Poisson Number

Setiap pemanjangan  $\Delta l$  dari panjang semula  $l_0$  akan menyebabkan penyusutan lebar  $-\Delta b$ , misalnya dari lebar semula  $b_0$ . Menurut Poisson, persentase penyusutan lebar akan sebanding dengan persentase pemanjangannya. Maka didefinisikanlah apa yang dikenal dengan Angka

Banding Poisson,  $m$  selaku tetapan kesebandingan yang menurut hubungan berikut.

Tabel 7. Data hasil pengujian regangan Tarik

| No | Spesimen | Regangan Transversal | Regangan Longitudinal | Poisson Number | Rata-Rata |
|----|----------|----------------------|-----------------------|----------------|-----------|
| 1  | RAW      | 0.14                 | 0.56                  | 0.25           |           |
| 2  | RAW      | 0.21                 | 0.57                  | 0.37           | 0.27      |
| 3  | RAW      | 0.12                 | 0.58                  | 0.20           |           |
| 1  | 900°C    | 0.37                 | 0.47                  | 0.79           |           |
| 2  | 900°C    | 0.20                 | 0.32                  | 0.61           | 0.67      |
| 3  | 900°C    | 0.22                 | 0.35                  | 0.62           |           |
| 1  | 975°C    | 0.43                 | 0.51                  | 0.84           |           |
| 2  | 975°C    | 0.44                 | 0.55                  | 0.80           | 0.82      |
| 3  | 975°C    | 0.41                 | 0.51                  | 0.80           |           |

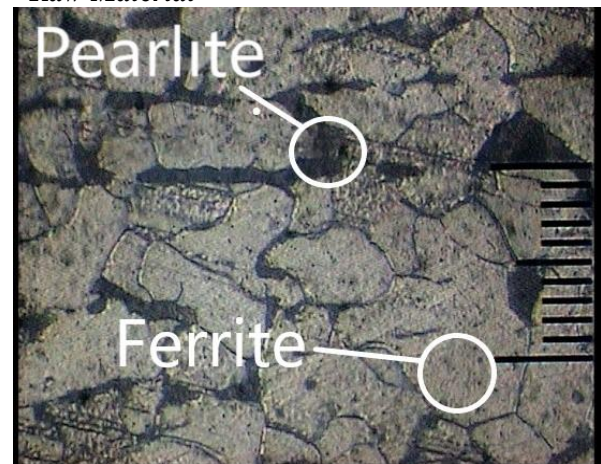


### 3.5. Struktur Mikro

Pengujian mikrofografi 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 suhu perlakuan panas sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro.

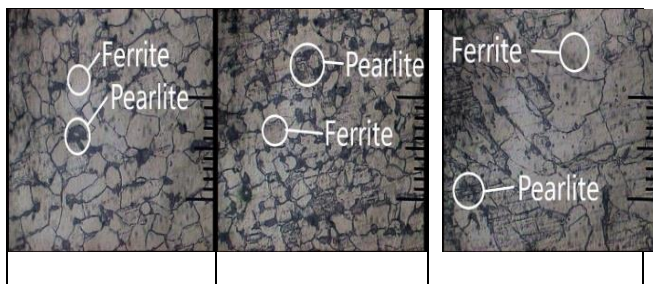
Dari hasil pengujian struktur mikro sambungan las baja SS 400 didapatkan hasil sebagai berikut :

#### • Raw Material



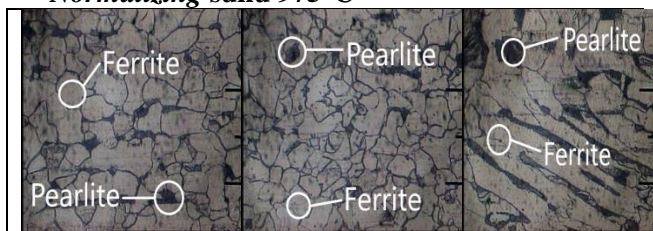
Gambar 11. Struktur Mikro Raw Material

#### • Normalizing suhu 900°C



(1) BM (2) HAZ (3) Las  
Gambar 12. Struktur Mikro *Normalizing* suhu 900°C

• **Normalizing suhu 975°C**



(1) BM (2) HAZ (3) Las  
Gambar 13. Struktur Mikro *Normalizing* suhu 975°C

Fasa yang bisa dilihat dari keempat foto di atas adalah *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang 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.

Pada hasil foto mikro terlihat bahwa pada bagian HAZ specimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C terdapat banyak daerah gelap yang disebut dengan istilah *pearlite* yang berarti memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi, maka jika kekuatannya tinggi akan semakin kecil kekuatan regangan tariknya dan juga berpengaruh ke tingginya modulus elastisitas.

**4. KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan pengujian tarik, tekuk, dan mikrografi pada sambungan las baja SS 400 menggunakan kampuh V posisi pengelasan 1G (*down hand*) yang diberi perlakuan panas berupa *normalizing* dengan suhu 900°C dan 975°C dengan waktu tahan 30 menit adalah sebagai berikut :

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum terbesar dihasilkan dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C sebesar 397,52 Mpa, dan yang terkecil dihasilkan

dari specimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C sebesar 377,78 Mpa, dan hasil uji yang lainnya adalah dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 389,25 MPa .

Rata-rata regangan tarik terbesar dihasilkan dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah 49,09%, dan yang terkecil dihasilkan oleh specimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C adalah sebesar 40,16%, dan hasil uji yang lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C adalah sebesar 48,13%.

Tegangan tekuk tertinggi diperoleh pada specimen yang tidak diberi perlakuan apapun sebesar 520,67 MPa, dan yang terkecil dihasilkan oleh specimen diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C adalah sebesar 473,7 MPa, dan hasil uji lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C 515 MPa.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Dalam penulisan penelitian ini penulis menyadari bahwa tugas akhir 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 penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Orang tua, Dosen Pembimbing 1 dan 2 yang telah memberikan petunjuk, bantuan, serta dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] M.Sardi, *Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 6, No 1 : 142-149, 2018.

[2] M.Karo-Karo, *Pengaruh normalizing ulang terhadap sifat kelelahan baja DIN 42MnV7*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2001.

[3] H.Pratikno, *Pengaruh jenis proses las FCAW/SMAW dan salinitas terhadap sifat mekanik weld joint material baja pada underwater welding di lingkungan laut*. Surabaya: Jurnal Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2009.

- [4] M.Pradolin, *Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Baja St 42 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Posisi Pengelasan*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 6, No. 4. 2018 .
- [5] R.C.Kusuma, *Analisis Perbandingan kekuatan tarik, impak, tekuk dan mikrografi aluminium 5083 Pasca pengelasan TIG(Tungsten Inert Gas) dengan Media pendingin air laut dan oli*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 5, No. 4 Oktober 2017.
- [6] R. S. P.Dora, *Analisa Kekuatan Material SS400 Pengaruh Preheat dan PWHT dengan menggunakan Metode Simulasi dan Uji tarik*, 2011.
- [7] A,Cahyono,*Heat Treatment (Perlakuan Panas) Dengan cara Normalizing* , Jurusan Teknik Mesin , Universitas Negeri Semarang , Semarang, 2015.
- [8] B.Pribadi, Suprpto. Dan D.Priyantoro. *Pengaruh normalisasi terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro baja tahan karat setelah proses pengerolan*, Badan Teknologi Nuklir, Yogyakarta,2009.
- [9] F. B.Susetyo, Syaripuddin, & S.Hutomo, *Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG*. *Jurnal Mechanical*, 4(2), 13, 2013.
- [10] A.H.Yuwono, *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [11] R.Setiaji, *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.
- [12] *Metallography and Microstructure*, ASM Metals Handbook, Vol 9,2004.
- [13] ASTM E8/E8M-09, *Standard Specification for Aluminum and Aluminum- Alloy Sheet and Plate*. USA,2009.
- [14] ASTM E190-14, *Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds*, 2014.
- [15] H.Kurnia, *Analisa sifat mekanik hasil pengelasan GMAW baja SS 400 studi kasus di PT INKA Madiun*,Surabaya,2011.
-