



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 ST 40 Akibat Pengelasan *Flux-Cored Arc Welding* (FCAW) Dengan Variasi Suhu Normalizing

Enggal Noor Laksono<sup>1)</sup>, Ari Wibawa Budi Santosa<sup>2)</sup> Sarjito Jokosisworo<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 : [noorenggal@gmail.com](mailto:noorenggal@gmail.com), [arikapal75@gmail.com](mailto:arikapal75@gmail.com), [sarjitojs@gmail.com](mailto:sarjitojs@gmail.com)

### Abstrak

Normalizing telah dilakukan pada baja ST40 yang mana baja ST40 merupakan baja bertipe low carbon atau berkarbon rendah pada variasi pemanasan 875°C dan 975°C dengan holding time selama 30 menit, setelah itu didinginkan menggunakan udara. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil kekuatan tarik, impak, dan mikrografi. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa dari faktor pemanasan berpengaruh kurang baik dalam nilai tarik, nilai impak, dan struktur mikrografi spesimen penelitian. Pada spesimen tanpa perlakuan apapun didapatkan kekuatan tarik 467,404MPa, regangan 27,895%. Sedangkan spesimen dengan pemanasan 875°C diperoleh kekuatan tarik 410,025 MPa, regangan 28,025%. Sedangkan spesimen dengan pemanasan 975°C diperoleh tegangan maksimal 377,010 MPa, nilai regangan sebesar 21.69%. Pada pengujian impak spesimen tanpa perlakuan apapun didapatkan nilai impak sebesar 1,001J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan spesimen dengan pemanasan 875°C mempunyai nilai impak 1,447J/mm<sup>2</sup> sedangkan spesimen dengan pemanasan 975°C mempunyai nilai impak 1,277J/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian tarik spesimen tanpa perlakuan pemanasan memiliki tegangan tarik yang lebih baik, namun jika dilihat dari regangan, yang lebih baik adalah spesimen dengan pemanasan sebesar 875°C. Sedangkan dari hasil pengujian impak spesimen dengan perlakuan pemanasan sebesar 875°C memiliki nilai impak yang terbaik. Normalizing dengan variasi 975°C struktur mikrografinya menunjukkan fasa ferrite lebih dominan, jika dibandingkan variasi normalizing 875°C maupun tanpa perlakuan pemanasan apapun.

Kata Kunci : Baja ST 40, Pengelasan FCAW, Normalizing, Tarik, Impak, Mikrografi

### 1. PENDAHULUAN

Baja merupakan sebuah unsur yang penting dalam dunia perkapalan. Kemajuan di dalam hal konstruksi sebuah kapal banyak membawa pengaruh signifikan ke pembangunan dan reparasi sebuah kapal secara menyeluruh.

Salah satu dari jenis material adalah Baja ST 40. Baja ini merupakan jenis baja karbon yang memiliki kadar karbon rendah (Low Carbon Steel) yaitu dibawah 0,30%. Baja ST 40 memiliki kekuatan Tarik sampai dengan 40kg / mm<sup>2</sup>, memiliki nilai regang senilai 34 %, dan massa jenis di angka 7,86 g / mm<sup>3</sup>. Baja ST 40 mengandung Besi (Fe) = 99,092%, Karbon (C) = 0,16 %,

Mangan (Mn) = 0,385 %, Silikon (Si) = 0,221 %, Kobal (Co) = 0,077%, Cuprum (Cu) = 0,036%, Wolfram (W) = 0,001%, dan Fosfor (P) = 0,026 %.

Baja kemudian harus mengalami proses pemanasan yang bertujuan untuk menambah kekuatan dari baja itu sendiri. Pemanasan yang dilakukan ke baja, digunakan untuk merubah sifat-sifat dari baja tersebut yang telah mengalami proses *cold work*. [1]

*Normalizing* adalah salah satu dari proses heat treatment, proses pemanasan ini berlangsung hingga mencapai temperatur austenisasi, dan kemudian melakukan proses pendinginan. Dengan begitu struktur baja yang sebelumnya berubah

supaya dibentuk kembali ke struktur awal yang normal melalui sebuah proses yang disebut normalizing.[2]

Dalam konstruksi kapal, baja ST 40 sangat diperlukan karena merupakan bahan utama dari konstruksi kapal tersebut. Baja ST 40 adalah baja berkarbon rendah dimana kandungan karbon di baja tersebut hanya < 0,3 %. Di dunia perkapalan baja berkarbon rendah atau kecil merupakan sebuah bahan yang paling utama untuk membuat sebuah konstruksi kapal, seperti digunakan pada konstruksi lambung kapal. Dengan kata lain Baja ST 40 biasa digunakan untuk konstruksi lambung kapal.

Las Flux-Cored Arc Welding (FCAW) merupakan salah satu jenis pengelasan, panas di jenis pengelasan ini digunakan sebagai energinya yang didapat dari energi listrik setelah itu dikonversi menjadi panas pada busur listrik, pengelasan FCAW menggunakan flux yang berada di inti kawat las. Gas argon di jenis pengelasan FCAW bertugas sebagai pelindung guna melindungi logam las yang mencair saat proses las berlangsung. Elektroda berupa kawat rol yang bergerak menggunakan motor listrik.[3].

Pada penelitian lainnya, telah dilakukan penelitian tentang perlakuan *normalizing* terhadap baja berkarbon rendah yang menunjukkan hasil bahwa nilai kekerasannya adalah 82,25BHN.[4]

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 SS400 menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi suhu *normalizing* 900°C dan 975°C menunjukkan kekuatan tarik maksimal dihasilkan sebesar 397,52MPa di suhu 900°C.[5]

Penelitian lainnya tentang sambungan las baja SS400 menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan posisi pengelasan 1G dan jenis kampuh V menghasilkan kekuatan tarik sebesar 410MPa.[6].

Penelitian lainnya tentang sambungan las baja ST 40 menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi kuat arus listrik 135 A dan 165 A menghasilkan kekuatan tarik maksimal sebesar 478,15MPa di 135 A.[7]

Penelitian lainnya tentang sambungan las baja SS400 menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi jenis kampuh dan posisi pengelasan menghasilkan

402,19MPa di posisi kampuh *single U-butt joint* dan posisi pengelasan 1G.[8]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik baja ST 40 setelah dilakukan pengelasan FCAW dan diberikan sebuah perlakuan panas *normalizing* dengan variasi suhu dengan pengujian tarik, dampak dan mikrofografi sehingga dapat diketahui jenis perlakuan panas yang tepat pada baja ST 40 yang akan digunakan sebagai rangka konstruksi.

Dari permasalahan yang ada dicantumkan di atas, ada beberapa hal yang dapat kita amati adalah bagaimana hasil uji kekuatan tarik, dampak yang terjadi pada material baja ST 40 setelah pengelasan dan setelah *normalizing*, observasi struktur mikro pada material baja SS 40 setelah pengelasan dan setelah *normalizing*, dan juga untuk observasi pengaruh perbedaan suhu *normalizing* terhadap ketahanan uji tarik, dampak, dan struktur mikro pada material baja ST 40

## 2. METODOLOGI

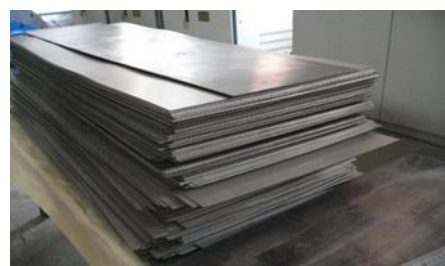
### 2.1. Pengumpulan Data

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

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah Baja ST 40, 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. [7]

**Tabel 1. Komposisi Baja ST40**

Unsur		Kandungan (%)
Fe	Ferrum	99
C	Carbon	0,16
Si	Silicon	0,221
Mn	Mangan	0,385
P	Phosporus	0,028
W	Wolfram	0,001
Co	Kobal	0,077
Cu	Cuprum	0,036



Gambar 1. Plat Baja ST 40

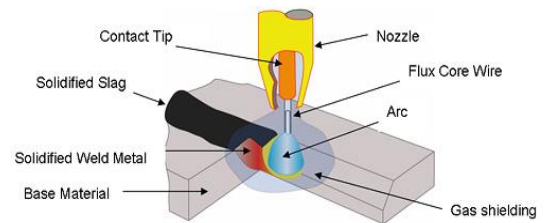
## 2.2 Sifat Mekanik Baja

- Kekerasan (*Hardness*) adalah kemampuan ketahanan bahan terhadap penetrasi yang akan dihadapinya, biasanya dinyatakan dalam bilangan kekerasan Brinell (BHN), Vickers (DPH), atau Rockwell (R).
- Kekuatan (*Strength*) berarti kemampuan baja untuk mendapat tegangan ataupun tekanan tanpa menyebabkan baja tersebut menjadi patah atau hancur. Kekuatan dapat dibagi menjadi 4 diantaranya kekuatan tarik, kekuatan puntir, kekuatan bengkok, dan kekuatan tekan
- Kekenyalan (*Elasticity*) adalah nilai keahlian bahan untuk mendapat gaya tegangan dan tidak mengubah bentuk bahan awal secara permanen setelah gaya tegangan dihilangkan. Kekenyalan berarti mengukur keahlian material untuk mengembalikan ke bentuk semula setelah menerima gaya tegangan yang dapat menyebabkan perubahan bentuk semula.
- Kekakuan (*stiffness*) berarti keahlian baja untuk menerima seberapa besar tegangan yang dapat diterima dan tidak mengakibatkan perubahan bentuk.
- Plastisitas (*plasticity*) artinya adalah kemampuan bahan seberapa besar dia dapat menerima perubahan bentuk secara plastis tanpa mengalami kerusakan.
- Ketangguhan (*toughness*) berarti kemampuan bahan dalam mengukur seberapa besar dia akan menyerap sebuah energy tanpa mengalami kerusakan.
- Kelelahan (*fatigue*) berarti kemampuan bahan untuk mengukur seberapa kuat bahan untuk menerima gaya yang berulang-ulang.

## 2.3 Pengelasan

Pengelasan atau yang biasa disebut welding merupakan sebuah teknik untuk menyambungkan dua logam dengan cara menggunakan pencairan dari beberapa atau lenih logam induk dan logam pengisi. [9]

Las FCAW merupakan sebuah jenis pengelasan yang memiliki ciri khas menggunakan panas sebagai energinya, energi itu didapatkan dari energi listrik setelah itu diubah menjadi panas di busur listrik, di sistem pengelasan ini menggunakan flux, flux ini berada di inti kawat las. Gas argon di jenis pengelasan FCAW bertugas sebagai pelindung guna menjaga logam las yang mencair saat proses las berlangsung. Elektroda berupa kawat rol yang bergerak menggunakan motor listrik. [3]



Gambar 2. Skema Pengelasan FCAW

Dalam pengelasan ini fluks dibungkus menggunakan pelat tipis yang terbuat dari baja lunak. Ada beberapa cara pembungkusan, berikut adalah cara pembungkusannya.



Gambar 3. Penampang Kawat Berisi Fluks

Kawat berisi fluks untuk las busur CO<sub>2</sub> secara kasar dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu :

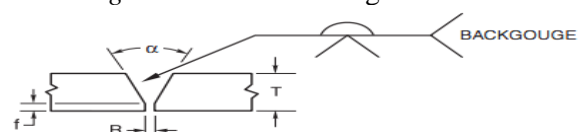
- Kelompok diameter besar :  
Berukuran antara 2,4 – 3,2 mm seperti gambar diatas poin a,b,c.
- Kelompok diameter kecil :  
Dengan ukuran antara 1,2 – 2,4 mm dengan gulungan seperti gambar diatas poin d dan e. Kawat yang berdiameter lebih besar berisi lebih banyak zat pemantap busur, karena itu dapat digunakan dengan menggunakan arus listrik AC.

Kawat las yang berisi fluks berdiameter lebih kecil mempunyai sifat – sifat yang terletak antara kawat las yang berisi fluks diameter besar dan kawat las pejal karena adanya fluks maka busur lebih mantap dan percikan berkurang.

Kandungan yang berada di pengelasan ini adalah sebagai berikut : Karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), Sulfur (S), Fosfor (P).

## 2.4 Sambungan Las

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini mengacu standar yang diterbitkan oleh 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°

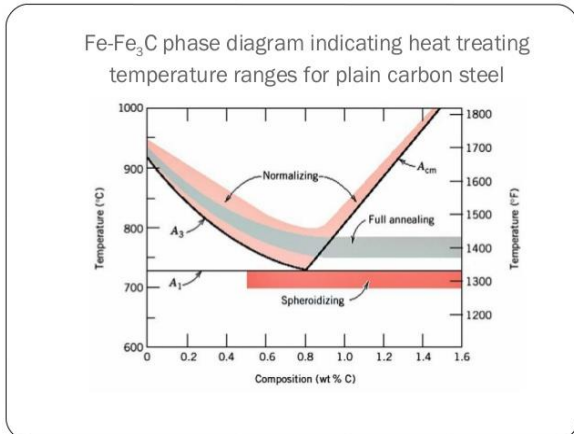
Kualitas dari sambungan las sangat menentukan kekuatan dari hasil sambungan las tersebut. Pengelasan yang baik akan menghasilkan kualitas sambungan dan masukan panas (*heat input*) yang baik. Masukan panas (*heat input*) dalam pengelasan dapat ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya adalah tegangan 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 fungsinya menjelaskan hubungan antara temperatur dimana dapat terjadi perubahan fase selama proses pendinginan atau pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua proses perlakuan panas. Fungsi diagram fasa adalah untuk memudahkan pembaca untuk memilih temperatur pemanasan yang sesuai dan cocok dengan setiap proses perlakuan panas baik proses annealing, normalizing maupun proses pengerasan lainnya.



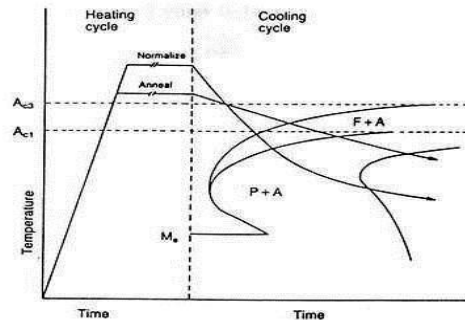
Gambar 4. Diagram Fe3-C

## 2.6 Heat Treatment

Heat Treatment adalah sebuah fase yang berguna untuk mengubah sebuah struktur dari logam, dan dilakukan dengan cara memanaskan logam. Yang mempunyai fungsi untuk menghaluskan ukuran butir-butir Kristal, meniadakan tegangan, dan meningkatkan sifat keras maupun kekuatan tarik bahan. Ada faktor yang mempengaruhinya diantaranya suhu yang digunakan pada saat pemanasan, lama waktunya pemanasan atau yang biasa disebut holding time, cara pendinginan dan lingkungannya.[10]

- *Normalizing*

*Normalizing* adalah salah satu dari proses heat treatment, proses pemanasan ini berlangsung hingga mencapai temperatur austenisasi, dan kemudian melakukan proses pendinginan. Dengan begitu struktur baja yang sebelumnya berubah diubah kembali ke struktur awal yang normal lewat proses normalizing.[5]



Gambar 5. Proses Normalizing

## 2.7 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik adalah salah satu pengujian material yang termasuk ke dalam jenis uji merusak yang berfungsi mengetahui sifat suatu bahan, dengan cara menarik spesimen yang akan diuji, dengan cara itu dapat diperoleh sejauh mana spesimen bertambah panjang.

Pengujian Tarik dapat menunjukkan proses deformasi pada spesimen. Hasil pengujian Tarik ini berupa suatu kurva yang menjelaskan tentang gaya yang digunakan pada saat pengujian dan perpanjangan yang dialami oleh spesimen.

Pengujian Tarik dilakukan untuk memenuhi keperluan informasi tentang rancangan dasar kekuatan suatu bahan atau baja dan sebagai alat pendukung bagi spesifikasi bahan atau baja. Sifat-sifat yang dihasilkan oleh uji Tarik adalah sebagai berikut.[11]

1. Tegangan tarik maksimum ( $\sigma$ )

Tegangan tarik adalah tegangan maksimal yang dapat diterima oleh sebuah baja sebelum patah (fracture). Kekuatan tarik maksimum dari suatu bahan dapat dirumuskan:

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

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 (%). [12]

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

**2.8 Pengujian Impak**

Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk memisahkan kondisi operasi material yang sering di hadapi di dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selalu terjadi secara perlahan-lahan, namun datang secara tiba-tiba. Prinsip pengujian ini ialah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang di ayun dari suatu ketinggian tertentu dan menabrak benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Prinsip pengujian ini adalah dengan mengukur besarnya energi potensial yang diserap dari sebuah material dari pendulum beban yang di ayun dari ketinggian tertentu dan menabrak spesimen sehingga spesimen mengalami deformasi atau perubahan bentuk.

Pada pengujian ini peletakan spesimen dilakukan secara horizontal dengan takikan diletakan membelakangi arah striking edge. Dalam realisasinya metode Charpy ini lebih sering digunakan daripada metode yang lain. Hal ini disebabkan karena pada metode Charpy ini energi dari striking edge yang hilang akibat tahanan peletak spesimen lebih kecil daripada metode yang lain. Dan ini dapat diasumsikan bahwa energi yang hilang tersebut diserap oleh spesimen yang patah dapat semakin didekati.[12]

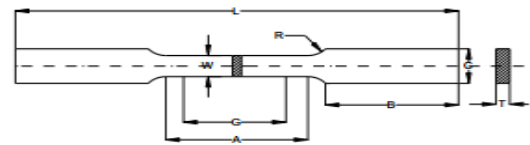
**2.9 Pengujian Mikrografi**

Pengujian Mikrografi berguna untuk mengetahui gambar yang menunjukkan struktur mikro dari bahan yang dapat dilihat dan diperoleh langsung menggunakan mikroskop. Proses ini lah yang dapat mengidentifikasi struktur dari suatu logam. Pengujian ini berfungsi untuk melihat struktur yang berubah di logam setelah dilakukan pengelasan pada logam tersebut.[9]

**2.10 Parameter Penelitian**

**1. Parameter Tetap**

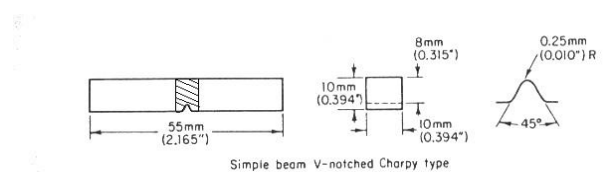
Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja ST 40, tipe pengelasan yang di gunakan adalah pengelasan FCAW, diameter elektroda pengisi 1,2 mm, dan dimensi ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Tarik [13]

**Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik**

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



Gambar 7. Bentuk Spesimen Impak

**Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Impak**

Keterangan	Panjang (mm)
Overall length (L)	55
Width (W)	10
Thickness (T)	10

**2. Parameter Perubahan**

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

## 2.11 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, proses pengelasan FCAW dilakukan di laboratorium las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" Surakarta. Pengujian komposisi bahan dilakukan di Laboratorium Logam Politeknik Manufaktur Ceper. Sedangkan pengujian tarik, impak, dan mikrografi di penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi 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 ST 40.

**Tabel 4. Hasil Uji Komposisi**

Unsur	Kandungan (%)
Fe	Ferrum 99
C	Carbon 0,16
Si	Silicon 0,221
Mn	Mangan 0,385
P	Phosporus 0,028
W	Wolfram 0,001
Co	Kobal 0,077
Cu	Cuprum 0,036

Dari hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen tersebut mengandung unsur penyusun utama besi (Fe) = 99%, Mangan (Mn) = 0,385% yang berguna untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan, Silikon (Si) = 0,221% yang berpengaruh meningkatkan kemampuan keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat. Sedangkan unsur-unsur lain yang didapatkan yaitu : karbon (C) = 0,160%, fosfor (P) = 0,028%, wolfram (W) = 0,001%, kobal (Co) = 0,077%, cuprum (Cu) = 0,036%. Dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan kriteria baja ST 40 (*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 dan menggunakan penampang kawat jenis D/E seperti pada di gambar 3. Lalu

pengelasan ini 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

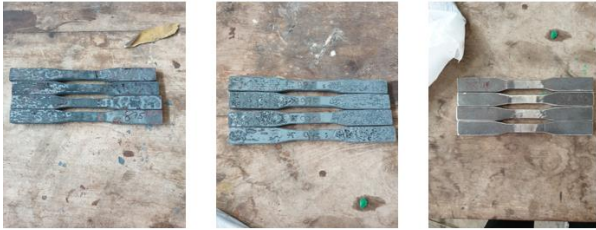
Baja ST 40 yang telah dilas dan dibuat specimen sesuai dengan standar ASTM akan diberi perlakuan panas (*heat treatment*) berupa metode *normalizing* dengan waktu tahan (*holding time*) selama 30 menit dengan variasi suhu sebesar 875°C dan 975°C lalu didinginkan dengan media pendingin berupa udara dan didinginkan sampai dengan suhu ruangan.[13]

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

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8[13] pada tanggal 26 Februari 2020 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 ST 40 setelah dilakukan pengelasan menggunakan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas *normalizing*.

## 1. Tegangan Tarik

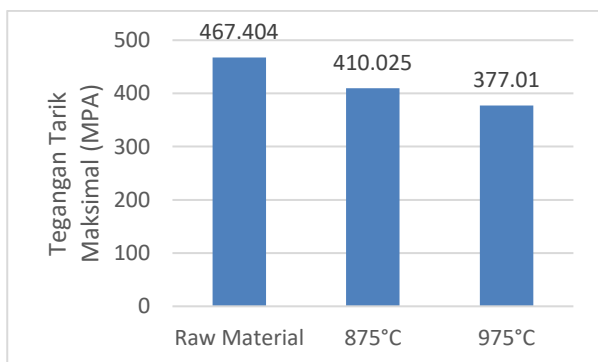
Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan variasi suhu *normalizing* adalah sebagai berikut :



Gambar 8. Spesimen Uji Tarik Sebelum Pengujian

Tabel 5. Data hasil pengujian tegangan Tarik

Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	PMax (KN)	$\sigma$ Max (MPA)	$\sigma$ Max Rata-Rata (MPA)
Raw Material	14,18	9,6	63,99	470,072	467,404
	14,84	9,66	66,66	465,001	
	13,57	9,88	61,46	458,412	
	13,63	9,66	62,69	476,130	
	14,1	9,65	55,3	406,423	
875°C	13,93	9,7	56,42	417,552	410,025
	14,2	10	56,81	400,070	
	14,2	9,78	57,78	416,055	
	14,72	10	57,12	388,043	
	14,22	9,89	53,87	383,046	
975°C	13,78	9,96	52,22	380,477	377,010
	14,15	9,75	49,18	356,474	



Gambar 9. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja ST 40 yang tidak diberi perlakuan apapun memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 470 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 467,404 MPa. Material baja ST 40 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 875°C dan waktu tahan 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 417,552 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang

dihasilkan adalah sebesar 410,025 Mpa. Sedangkan material baja ST 40 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 388,043 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 377,010 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, hasil sambungan las baja ST 40 yang tidak diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu berapapun 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 470,072 MPa.



Gambar 10. Spesimen Uji Tarik Setelah Pengujian

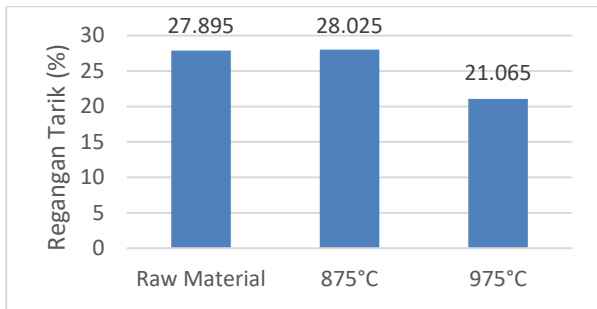
## 2. Regangan Tarik

Regangan merupakan sebuah perbandingan perubahan relatif ukuran atau bentuk suatu benda yang mengalami sebuah tegangan. Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda pada awalnya. Selain itu regangan menjadi acuan seberapa jauh benda tersebut berubah bentuk.

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan variasi kampuh dan variasi posisi pengelasan adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data hasil pengujian regangan tarik

Spesimen	L0 (mm)	L1 (mm)	$\Delta$ L (mm)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ Rata-Rata (%)
Raw Material	50	64,42	14,42	28,84%	27,895
	50	61,7	11,7	23,4%	
	50	64,31	14,31	28,62%	
	50	65,36	15,36	30,72%	
	50	61,68	11,68	23,36%	
875°C	50	65,58	15,58	31,16%	28,025
	50	65,67	15,67	31,34%	
	50	63,12	13,12	26,24%	
	50	65,33	15,33	30,66%	
	50	61	11	22%	
975°C	50	57,11	7,11	14,22%	21,065
	50	59,94	9,94	19,88%	



Gambar 11. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

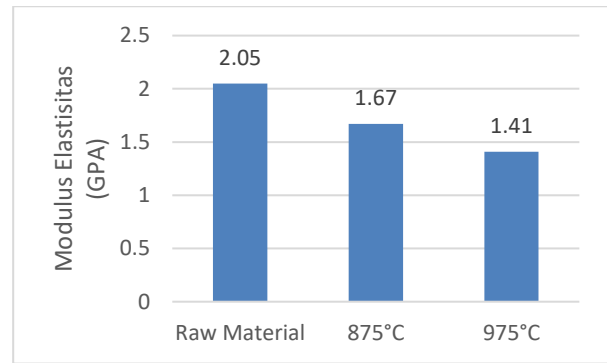
Nilai regangan tarik maksimum material baja ST40 dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 30,72% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 27,895%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 875°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 31,34% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 28,025%. Sedangkan nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 30,66% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 21,065%.

### 3. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 2,38 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 2,05 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 875°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 1,79 GPa dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 1,67 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 30 menit adalah sebesar 1,66 GPa dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 1,41 GPa.

Tabel 7. Data hasil modulus elastisitas

Spesimen	$\sigma_y$ (MPa)	$\epsilon_y$ (%)	E (MPa)	E (GPa)	E Rata-Rata
Raw Material	355,800	0,16	2223,75	2,22	2,05
	337,060	0,19	1774,00	1,77	
	362,040	0,2	1810,20	1,81	
	356,430	0,15	2376,20	2,38	
	301,620	0,17	1774,24	1,77	
875°C	290,470	0,18	1613,72	1,61	1,67
	287,170	0,16	1794,81	1,79	
	298,260	0,2	1491,30	1,49	
	236,610	0,18	1314,50	1,31	
	243,980	0,2	1219,90	1,22	
975°C	248,680	0,15	1657,87	1,66	1,41
	248,060	0,17	1459,18	1,46	



Gambar 12. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4, maka sambungan las dengan perlakuan normalizing dengan suhu 875°C dan waktu tahan 30 menit memiliki sifat yang lebih kaku dan ulet dibandingkan dengan posisi pengelasan yang lainnya.

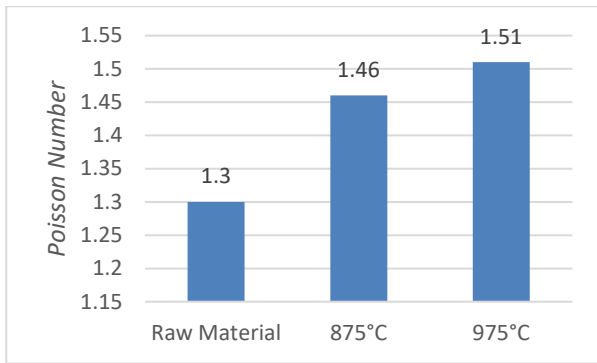
### 4. Poisson Number

Setiap perubahan panjang  $\Delta l$  dari panjang awal  $l_0$  akan mengakibatkan penyusutan atau pengurangan lebar  $-\Delta b$ , misalnya dari lebar awal  $b_0$ . Menurut Poisson, persentase penyusutan atau pengurangan lebar akan sebanding dengan persentase pemanjangannya atau pertambahannya. Maka didefinisikanlah apa yang biasa disebut dengan Angka Banding Poisson,  $m$  selaku tetapan kesebandingan yang menurut hubungan berikut.

Tabel 8. Data Poisson Number

Spesimen	Regangan Transversal (%)	Regangan Longitudinal (%)	Poisson Number	Poisson Number Rata-Rata
Raw Material	0,38	0,30	1,28	1,30
	0,25	0,24	1,05	
	0,40	0,29	1,35	
	0,46	0,31	1,51	
	0,36	0,24	1,53	
875°C	0,49	0,31	1,58	1,46
	0,51	0,32	1,60	
	0,29	0,26	1,12	
	0,51	0,31	1,64	
	0,31	0,22	1,40	
975°C	0,27	0,14	1,90	1,51
	0,22	0,20	1,11	





Gambar 13. Grafik Poisson Number

### 3.5. Pengujian Impak

Pengujian Impak dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 4 Maret 2020 yang bertempat di Laboratorium Teknik Bahan Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Hasil yang didapatkan dari pengujian impak adalah nilai impak, yang dapat digunakan untuk mengetahui kekuatan impak dari material baja ST 40 setelah dilakukan pengelasan menggunakan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas *normalizing*.

Gambar 14. Spesimen Uji Impak Sebelum dan Sesudah Pengujian

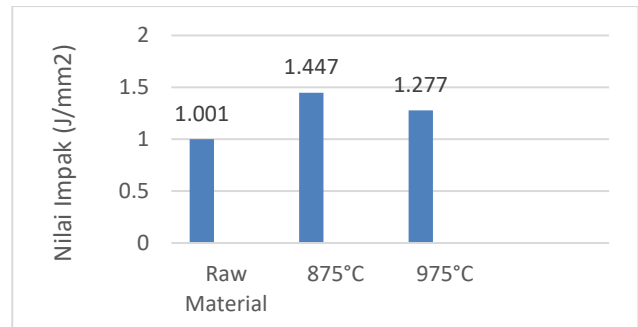


## 1. Nilai Impak

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai impak yang didapatkan dari material baja ST 40 dengan variasi suhu *normalizing* adalah sebagai berikut :

Tabel 9. Data hasil pengujian impak

Spesimen	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Energi Terserap (J)	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )	Harga Impak Rata-Rata (J/mm <sup>2</sup> )
Raw Material	10,22	9,80	49,00	0,49	1,001
	10,72	9,87	55,00	0,52	
	9,97	9,86	147,00	1,50	
875°C	10,23	9,50	146,00	1,50	1,447
	10,23	9,72	146,00	1,47	
	10,28	9,77	145,50	1,45	
	10,16	9,65	147,30	1,50	
	10,10	9,67	134,00	1,42	
	10,31	9,81	75,60	1,45	
975°C	10,38	9,88	145,20	1,50	1,277
	10,33	9,94	148,40	0,49	
	10,24	9,67	148,60	0,52	



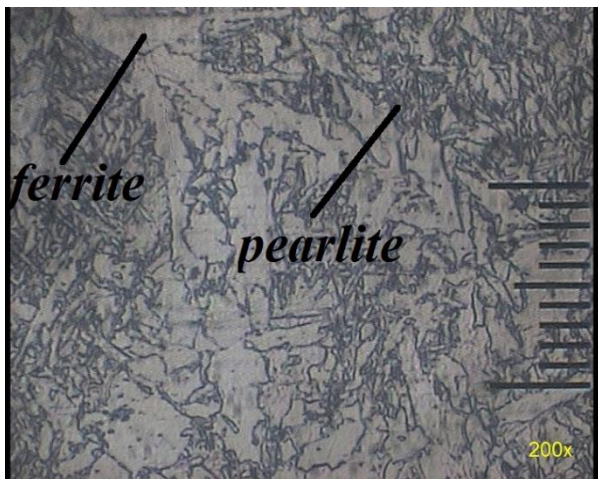
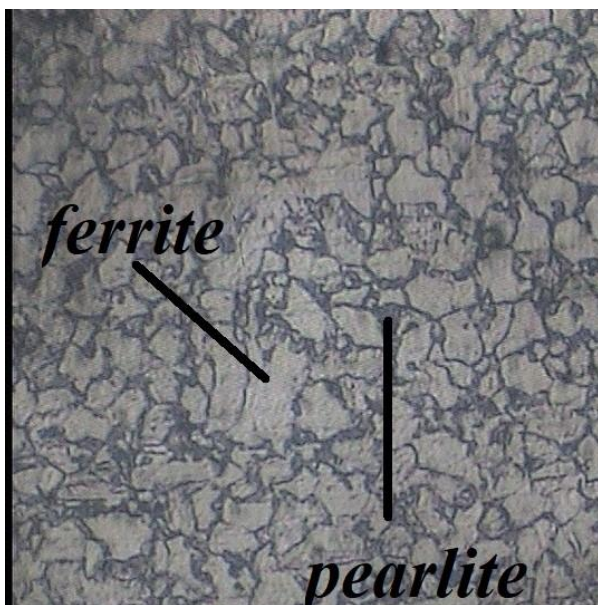
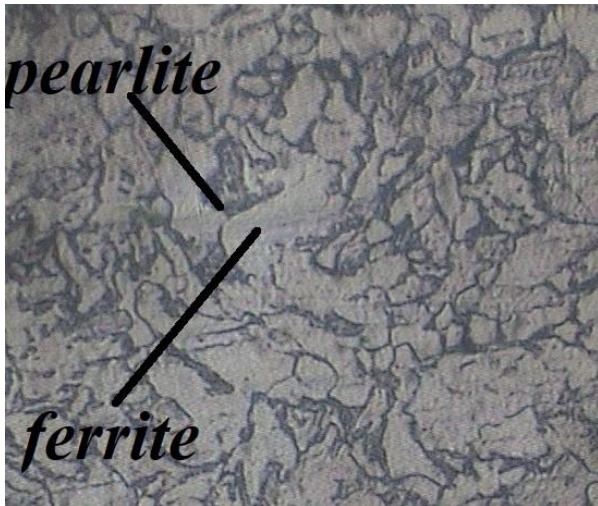
Gambar 15. Grafik Rata-rata Nilai Impak

### 3.6. Struktur Mikro

Pengujian mikrofografi pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur mikro pada sambungan las baja ST 40 setelah dilakukan pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro.

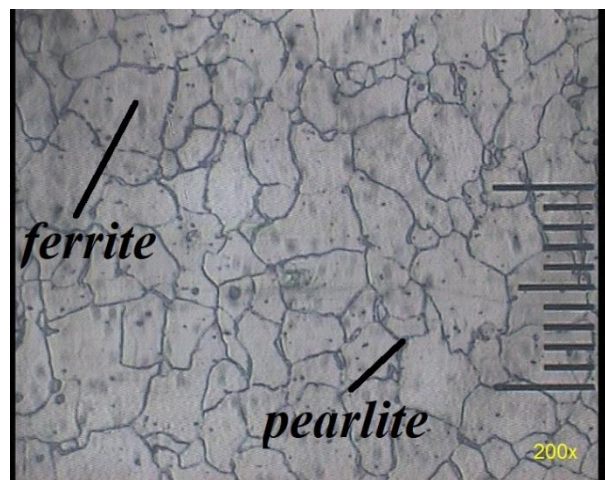
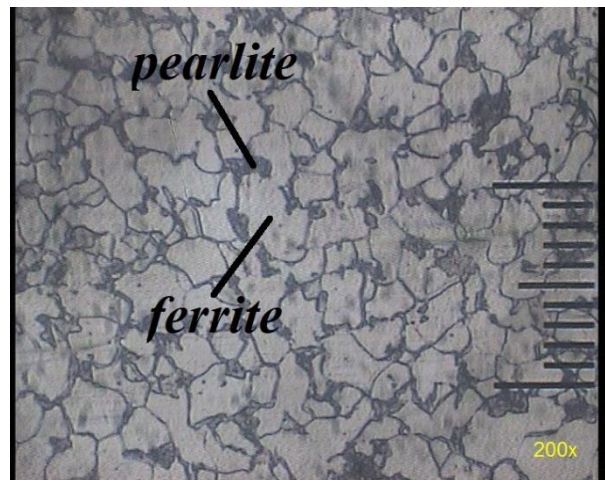
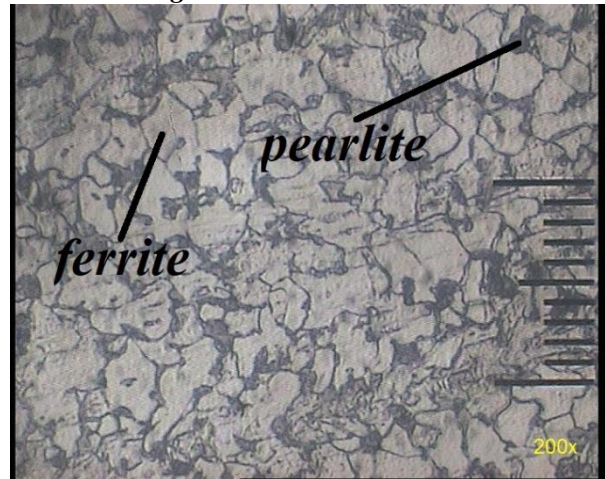
Dari hasil pengujian struktur mikro sambungan las baja ST 40 didapatkan hasil sebagai berikut :

• *Raw Material*



(1) BM (2) HAZ (3) Las  
Gambar 16. Struktur Mikro *Raw Material*

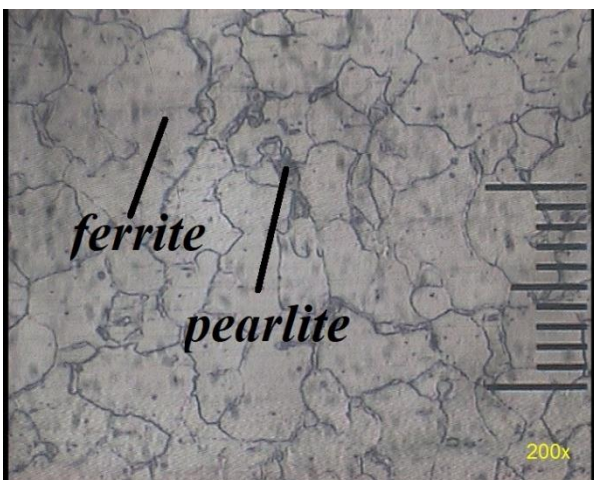
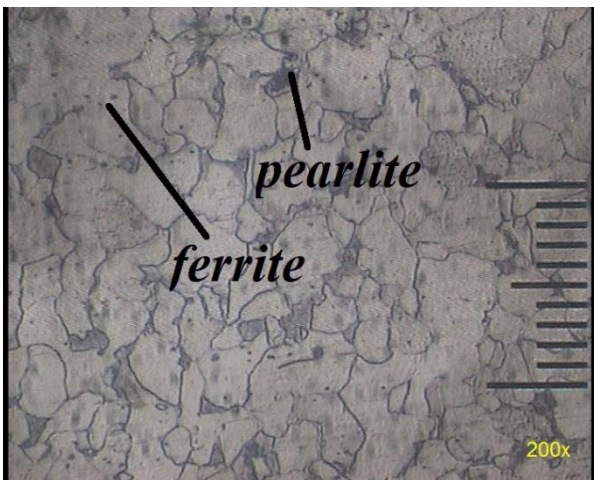
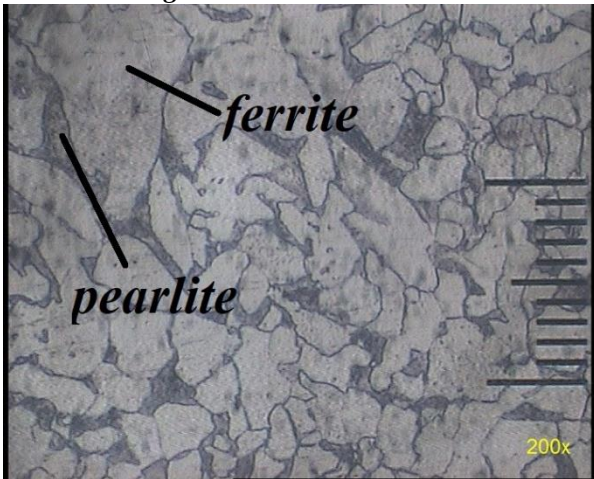
• *Normalizing suhu 875°C*



(1) BM (2) HAZ (3) Las  
Gambar 17. Struktur Mikro *Normalizing* suhu 875°C



• Normalizing suhu 975°C



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

Gambar 18. 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 spesimen yang tidak diberi perlakuan apapun 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.

Baja ST40 dengan perlakuan panas bersuhu 975°C memiliki sifat keuletan dan ketangguhan paling tinggi, hal ini disebabkan oleh baja ST40 dengan perlakuan panas bersuhu 975°C memiliki fasa *ferrite* lebih dominan dibanding spesimen normalizing 875°C disusul dengan spesimen tanpa perlakuan heat treatment.

Berdasarkan dari hasil pengujian mikrografi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sambungan las dari sebuah baja ST 40 dengan menggunakan jenis pengelasan FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) tanpa perlakuan *heat treatment* memiliki sifat kekerasan paling baik dikarenakan pada foto mikrografi terdapat fasa *pearlite* yang lebih dominan dibanding dengan yang lainnya yang menyebabkan kekuatan tarik dari sebuah spesimen itu lebih tinggi dari yang spesimen lainnya.

3.7 Perbandingan Hasil Uji dengan Standar BKI

Menurut BKI di Vol.5 tentang “*Rules for Material*” baja berkarbon rendah seperti ST 40 dengan kandungan karbon 0,16 % harus mempunyai standar nilai kekuatan tarik sebesar 400-520 MPA.[14]

Tabel 10. Tabel Perbandingan Standar BKI dengan Hasil Pengujian

Spesimen	Standar Kekuatan Tarik (MPA)	Hasil Pengujian (MPA)
Raw Material	400 - 520	470,072
		465,001
		458,412
		476,130
		406,423
875°C	400 - 520	417,552
		400,070
		416,055
975°C	400 - 520	388,043
		383,046
		380,477
		356,474

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat disimpulkan setelah dilakukan pengujian tarik, dampak, dan mikrografi pada sambungan las baja ST 40 menggunakan kampuh V posisi pengelasan 1G (*down hand*) yang diberi perlakuan panas berupa normalizing dengan

suhu 875°C dan 975°C dengan waktu tahan 30 menit dalam sebagai berikut :

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum terbesar dihasilkan dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) tanpa diberi perlakuan apapun sebesar 467,404 Mpa, dan yang terkecil dihasilkan dari spesimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C sebesar 377,01 Mpa, dan hasil uji yang lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 875°C adalah sebesar 410,025 MPa .

Rata-rata regangan tarik terbesar dihasilkan dari sambungan las FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 875°C adalah 28,025%, dan yang terkecil dihasilkan oleh spesimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C adalah sebesar 21,065%, dan hasil uji yang lainnya adalah tanpa diberi perlakuan adalah sebesar 27,895%.

Nilai dampak tertinggi diperoleh pada specimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 875°C sebesar 1,447 J/mm<sup>2</sup>, dan yang terkecil dihasilkan oleh specimen yang tanpa diberi perlakuan apapun sebesar 1,001 J/mm<sup>2</sup>, dan hasil uji lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C memiliki nilai dampak sebesar 1,227 J/mm<sup>2</sup>.

Dari pengujian diatas menjelaskan bahwa tidak selamanya perlakuan *heat treatment* dapat membuat baja menjadi lebih baik di segala bidang bisa dilihat dipenelitian di atas bahwa rata rata baja ST 40 tanpa melakukan *heat treatment* unggul di beberapa aspek pengujian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Sardi, Bhaskara, “Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi,” *J. Tek. Perkapalan*, 2018.
- [2] A. Ristyanto, Gunawan Dwi Haryadi, and Y. Umardani, “Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Thermite Simillar Baja UIC-54 (Union Internasionale des Chemins de fer -54),” *J. Tek. MESIN*, 2014.
- [3] T. Permata and H. Supomo, “Analisa Pengaruh Variasi Elektroda pada Pengelasan FCAW Material BKI Grade A Terhadap Laju Korosi,” *J. Tek. Pomits*, 2012.
- [4] R. P. Adebare and K. EdwardP, “Impact of Post-Weld Heat Treatment (PWHT) on the Hardness and Microstructure of Low Carbon Steel,” 2016.
- [5] A. Farhan, U. Budiarto, and A. W. B. Santosa, “Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan Flux-Cored Arc Welding (FCAW) Dengan Variasi Suhu Normalizing,” *Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [6] M. Y. Pratama, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, “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,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, 2019.
- [7] R. Haq, U. Budiarto, and I. P. Mulyatno, “Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk, dan Impak Pengelasan Flux C ored Arc Welding Material Baja St 40 Posisi 3G dengan Variasi Kuat Arus Listrik,” 2019.
- [8] L. I. Saputra, U. Budiarto, and S. Jokosisworo, “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,” 2019.
- [9] W. Wijoyo and B. K. Aji, “Kajian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Masukan Arus Listrik,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, 2015.
- [10] S. Jokosisworo, “Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 46,” *Kapal*, 2018.
- [11] H. Budiman, “Analisis Pengujian Tarik ( Tensile Test ) Pada Baja St37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell,” *Anal. Penguji. Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST 37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell*, vol. 03, no. 01, pp. 9–13, 2016.
- [12] 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,” *J. Tek. Perkapalan*, 2017.
- [13] ASTM E8, “ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1,” *Annu. B. ASTM Stand.* 4, 2010.
- [14] B. K. Indonesia, *Rules For Materials*. 2019.