



JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Variasi Waktu Penahanan (*Holding Time*) pada Perlakuan Panas *Normalizing* Setelah Pengelasan *Submerged Arc Welding* (SAW) pada Baja SS400 terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Mikrografi

Shandy Perdana¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Ari Wibawa Budi Santosa¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : shandypersib@gmail.com, budiartountung@gmail.com, arikapal75@gmail.com

Abstrak

Baja SS400 merupakan jenis baja yang banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dalam industri perkapalan. Pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*) adalah salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan dalam industri perkapalan. Perlakuan *normalizing* diperlukan untuk mengurangi tegangan sisa pada material serta meningkatkan sifat mampu mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil kekuatan tarik, tekuk, dan struktur mikrografi dari sambungan las SAW setelah proses pemanasan *normalizing* dengan *holding time* 30 menit dan 60 menit. Pengujian dilakukan dengan bentuk spesimen berdasarkan standar ASTM dan dilakukan proses *normalizing* temperature 900°C dengan waktu penahanan 30 dan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen *normalizing* 30 menit memiliki nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 193,11 MPa, regangan sebesar 15,21%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 27,21 GPa dan memiliki tegangan tekuk sebesar 399,69 MPa. Spesimen *normalizing* 60 menit memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 210,9 MPa, regangan sebesar 15,41%, rata-rata modulus elastisitas sebesar 39,50 GPa dan memiliki tegangan tekuk sebesar 385,73 MPa. Pada perlakuan panas *normalizing* dengan variasi *holding time* 30 menit struktur mikrografinya menunjukkan fasa ferrite lebih dominan, dibandingkan variasi 60 menit. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS400 pengelasan SAW dan perlakuan panas *normalizing* dengan variasi *holding time* 60 menit memiliki kekuatan yang lebih besar dari variasi *holding time* 30 menit.

Kata Kunci : Baja SS 400, Pengelasan SAW, *Holding Time* , *Normalizing* , Tarik, Tekuk, Mikrografi

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di bidang konstruksi berjalan semakin pesat. Konstruksi dengan penggunaan logam sangat erat kaitannya dengan pengelasan sebagai salah satu cara untuk menyambungkan material logam satu dengan yang lainnya sehingga dapat dibentuk sesuai kebutuhan.

Baja Karbon Rendah merupakan jenis baja yang sering digunakan untuk pembuatan konstruksi yang memerlukan sifat keuletan dan ketangguhan yang tinggi. Dengan kekerasan 95-145 Brinell 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 karbon 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.[2]

Las SAW merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik dimana proses pengelasan ini adalah memanaskan dan mencairkan benda kerja dan logam pengisi atau elektroda oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan

elektroda (logam pengisi). Pengelasan SAW ini menggunakan fluks yang bentuknya seperti pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dari udara luar sehingga menghasilkan las - lasan yang baik. Pengelasan SAW dibidang perkapalan banyak atau seringkali digunakan pada saat pembangunan kapal baru untuk penyambungan plat lambung dan lain sebagainya.

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.[3]

Proses *normalizing* merupakan proses perlakuan panas (heat treatment) yang dilakukan terhadap logam atau paduan logam dengan cara memanaskan logam sampai suhu tertentu sampai fase austenite, kemudian dilakukan holding time, dan didinginkan secara perlahan dengan media pendingin udara. Tujuan dari heat treatment *normalizing* adalah untuk memperoleh struktur mikro austenite, sehingga struktur dalam material yang telah berubah akibat perlakuan mekanik, ataupun karena bekerja pada temperature tinggi atau rendah dapat dikembalikan ke struktur yang normal lagi melalui proses *normalizing*. [4]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang pengaruh *normalizing* dengan variasi waktu penahanan panas (*holding time*) baja ST46 terhadap uji kekerasan, Tarik dan mikrografi, menunjukkan hasil pada waktu penahanan 20 menit memiliki tegangan luluh sebesar 241,57 Mpa dan memiliki tegangan luluh sebesar 336,53 Mpa. Sedangkan pada waktu penahanan 40 menit memiliki nilai tegangan luluh sebesar 235,61 Mpa dan tegangan maksimum sebesar 328,72 MPa.[3]

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang analisa pengelasan *mild steel* ST 42 dengan proses pengelasan SMAW, FCAW, SAW ditinjau dari segi kekuatan menunjukkan kekuatan tarik maksimal sebesar 465,8 MPa.[5]

Penelitian lainnya tentang pengaruh proses *normalizing* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada sambungan las *thermit* baja NP-42,

menyebutkan bahwa nilai kekerasan dan struktur mikro baja NP-42 sebelum mengalami proses *normalizing* memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan belum memiliki struktur kristal yang homogen. Namun setelah proses *normalizing* terlihat struktur mikro yang homogen dan nilai kekerasannya menurun.[6]

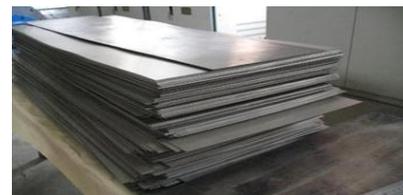
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan uji tarik, tekuk, dan perubahan struktur mikro pada sambungan material baja SS 400 dengan pengelasan SAW setelah proses *normalizing* dengan variasi waktu penahanan

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

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

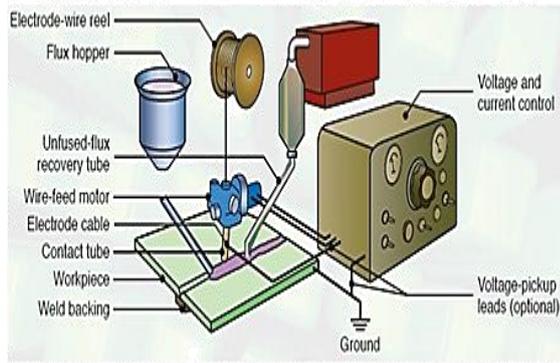
Objek yang diteliti pada penelitian tugas akhir ini adalah Baja SS 400, dimana jenis baja ini merupakan jenis baja karbon rendah yang sering digunakan sebagai rangka konstruksi, termasuk rangka konstruksi dalam bangunan kapal seperti konstruksi lambung kapal.



Gambar 1. Plat Baja SS 400

Pengelasan adalah proses penyambungan antara beberapa material logam atau non logam yang dilakukan dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), serta dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) yang menghasilkan sambungan yang kontinyu. [7]

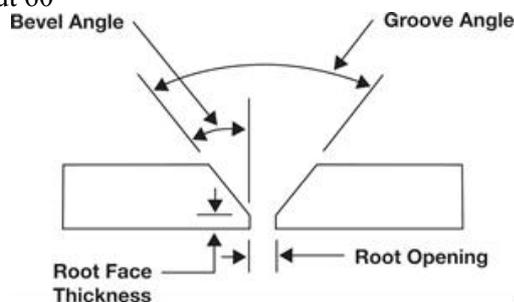
Las SAW merupakan salah satu jenis pengelasan busur listrik dimana proses pengelasan ini adalah memanaskan dan mencairkan benda kerja dan logam pengisi atau elektroda oleh busur listrik yang ada diantara logam induk dan elektroda (logam pengisi). Pengelasan SAW ini menggunakan fluks yang bentuknya seperti pasir untuk melindungi logam pengisi yang mencair saat proses pengelasan agar tidak terkontaminasi dari udara luar sehingga menghasilkan las - lasan yang baik. Pengelasan SAW dibidang perkapalan banyak atau seringkali digunakan pada saat pembangunan kapal baru untuk penyambungan plat lambung dan lain sebagainya.



Gambar 2. Skema Pengelasan SAW

Pengelasan SAW memiliki tingkat produktivitas yang tinggi karena SAW merupakan pengelasan otomatis, namun pada pengelasan jenis ini memiliki keterbatasan dalam posisi yaitu hanya bias digunakan pada posisi 1G, 1F dan 2F dengan sambungan lurus dan panjang serta untuk plat dengan ketebalan dibawah 10 mm tidak dianjurkan untuk menggunakan jenis pengelasan SAW karena heat input yang dihasilkan tinggi sehingga dikhawatirkan akan merusak logam induk.

Jenis sambungan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Single V-Butt Joint* dengan sudut 60°



Gambar 4. Tipe Sambungan Las *Single V-Butt Joint* 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)

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. [8] Sifat-sifat yang dihasilkan dari pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum (σ)

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

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

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

2. Regangan maksimum (ϵ)

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

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

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

Dimana, L_i adalah Panjang sesudah patah (mm), L₀ adalah Panjang mula-mula (mm), ϵ 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.

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_y} \quad (4)$$

Dimana, E adalah Modulus elastisitas (MPa), σ_p adalah batas proporsionalitas (KN/mm²), dan ϵ adalah Regangan (%). [9]

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas yang dapat dilihat dengan mata telanjang. [10]

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.

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

Dimana σ_b adalah tegangan *bending*, P adalah beban maksimum, L adalah panjang jarak penumpu, b adalah lebar spesimen dan d adalah tebal spesimen.

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 *fussion line* (garis perbatasan WM dan HAZ). [9]

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.[11]

2.2. Tahap Penelitian

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

A. Pengumpulan Bahan

Baja yang dipesan berukuran 30 cm x 50 cm dan 20 cm x 24 cm

B. Pemotongan Pelat

Pelat dipotong masing-masing menjadi 2 bagian

C. Pembuatan Kampuh

Kampuh yang digunakan yaitu *Single V-butt Joint* 60°.

D. Pengelasan Baja

Plat baja yang telah di bentuk sudut kampuhnya lalu di las menggunakan pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*) dengan detail sebagai berikut:

- Jenis pengelasan : SAW
- Mesin Las : WELDTECO
- Jenis Elektroda : F7A6-EM12K
- Logam induk : Baja SS 400 (10 mm)

E. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dibuat sesuai ukuran standar ASTM E8, dengan dimensi ukuran

200 mm x 20 mm x 10 mm 12 buah. Sedangkan pembuatan spesimen uji tekuk dibuat sesuai dengan ukuran standar ASTM E23, dengan dimensi ukuran 152 mm x 38 mm x 10 mm 12 buah, dan pembuatan spesimen uji mikrografi dibuat dengan ukuran 25 mm x 25 mm x 10 mm 3 buah.

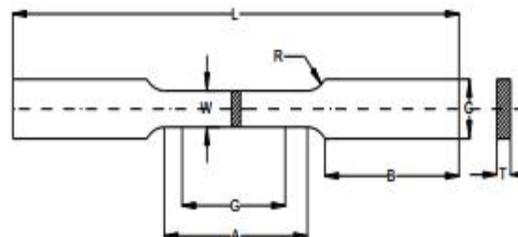
F. Proses Pengujian

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

2.3. Parameter Penelitian

A. Parameter Tetap

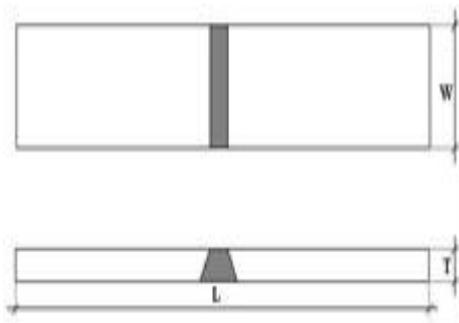
Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja SS 400, tipe pengelasan yang di gunakan adalah pengelasan SAW, diameter elektroda pengisi 1,2 mm, dan dimensi ukuran spesimen sebagai berikut :



Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Tarik [12]

Tabel 1. Dimensi Spesimen Uji Tarik

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



Gambar 7. Bentuk Spesimen Tekuk [13]

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tekuk

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	152 mm
Width (W)	38 mm
Thickness (T)	10 mm

B. Parameter Perubahan

Pada penelitian ini parameter perubahan adalah waktu penahanan pada proses perlakuan *normalizing* yaitu 30 menit dan 60 menit, pengujian tarik, pengujian tekuk, dan pengujian mikrografi.

2.4. Lokasi Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, proses pengelasan SAW 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

2.5. Alat dan Bahan

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

1. Gerinda
2. Penggaris
3. Amplas
4. Kapur
5. Mesin uji tarik
6. Mesin uji tekuk
7. Mesin uji mikrografi
8. Mesin Las SAW
9. Baja SS 400
10. Elektroda F7A6-EM12K 1,2 mm
11. Jangka Sorong

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.

Tabel 3. Hasil Uji Komposisi[14]

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%, phospor (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*).

3.2. Hasil Pengelasan dan Heat Input

Dalam pengelasan pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode pengelasan SAW dengan mempertimbangkan diameter elektroda, *voltage*, *ampere*, dan sudut kampuh mempunyai tujuan agar masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las dapat maksimal. Dari pengelasan SAW yang sudah dilakukan didapatkan nilai heat input sebesar:

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Heat Input Spesimen} &= \frac{60 \times 22v \times 115A}{12 \text{ m/menit}} \\ &= 12650 \text{ Joule/cm} \end{aligned}$$

3.3. 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 sambungan las

SAW material baja SS 400 setelah proses *normalizing*.

1. Tegangan Tarik

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan pengelasan SAW dan variasi waktu penahanan *normalizing* adalah sebagai berikut :

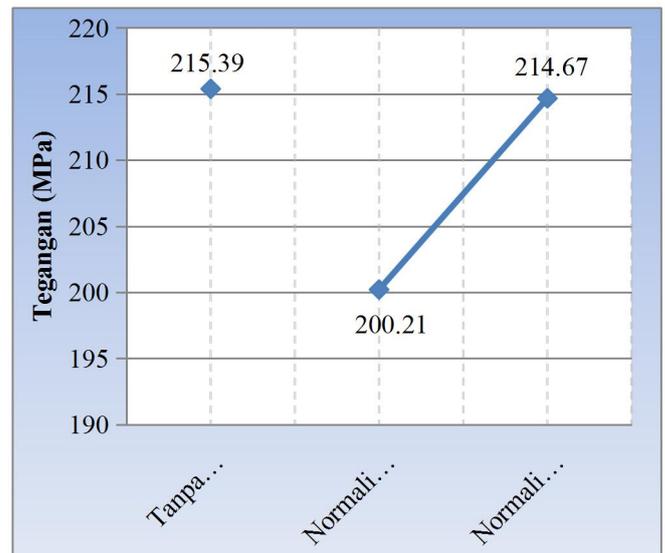
Tabel 4. Data hasil pengujian tegangan Tarik

No. Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Δl (mm)	Pmax (KN)	Tegangan (MPa)	Teg. Luluh (Mpa)	Reg. (%)
1	14.14	10.7	6.2	32.15	212.49	203.05	12.40
2 Tanpa	14.18	10.18	5.5	29.64	205.33	205.33	11.00
3 Normalizing	14.02	10.05	5.37	38.21	271.18	230.25	10.74
4	14.13	9.67	6.1	31.2	228.34	185.04	12.20
1	14.89	10.75	7.2	28.64	178.92	155.38	14.40
2 Normalizing	14.28	10.46	7.42	28.35	189.80	189.80	14.84
3 30 Menit	14.38	10.32	7.67	32.66	220.08	190.73	15.34
4	14.51	10.18	7.79	31.11	210.61	176.33	15.58
1	14.11	10.03	8.1	30.72	217.07	173.65	16.20
2 Normalizing	14.31	10.13	7.11	31.84	219.65	195.24	14.22
3 60 Menit	14.45	10.53	7.09	29.82	195.98	163.32	14.18
4	14	10.33	7.91	29.98	207.30	162.88	15.82

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	σ (MPa)	σ Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi (MPa)	σ (MPa)	σ Rata-rata Standar Deviasi (MPa)
1	212.49			212.49	
2 Tanpa	205.33	229.34	29.51	205.33	215.39
3 Normalizing	271.18			271.18	
4	228.34			228.34	
1	178.92			178.92	
2 Normalizing	189.8	199.85	18.83	189.8	200.21
3 30 Menit	220.08			220.08	
4	210.61			210.61	
1	217.07			217.07	
2 Normalizing	219.65	210	10.75	219.65	214.67
3 60 Menit	195.98			195.98	
4	207.3			207.3	



Gambar 8. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Pada uji statistik yang telah dilakukan, spesimen 3 tanpa *normalizing*, spesimen 1 dan 3 *normalizing* 30 menit, mengalami penyimpangan nilai dari nilai spesimen yang ada pada variasinya masing-masing. Hal ini di sebabkan karena adanya proses pengelasan yang kurang maksimal sehingga pada setiap variasi terhadap satu spesimen yang memiliki nilai kekuatan yang menyimpang.

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja SS 400 tanpa *normalizing* memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 228,34 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 215,39 MPa. Material baja SS 400 dengan *normalizing* 30 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 210,61 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 200,21 MPa. Material baja SS 400 dengan *normalizing* 60 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 219,65 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 214,67MPa.

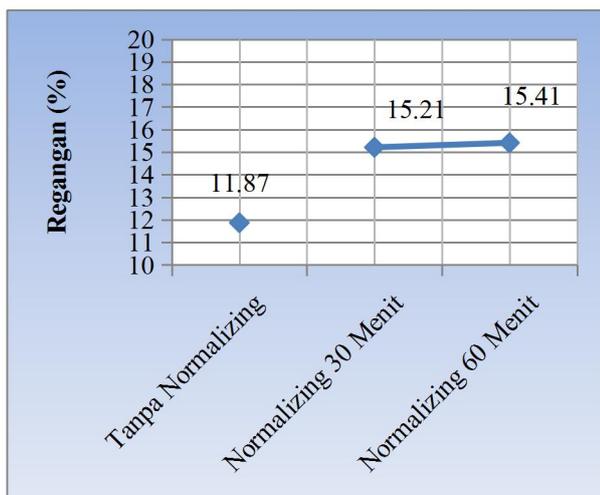
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, hasil sambungan las baja SS 400 pengelasan SAW dengan perlakuan *normalizing* waktu penahanan 60 menit menghasilkan kualitas sambungan las yang lebih baik dibandingkan dengan spesimen pengujian *normalizing* waktu penahanan 30 menit. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai kekuatan Tarik rata-rata sebesar 214,67 MPa.

2. Regangan Tarik

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

Tabel 6. Data hasil pengujian regangan tarik

No	Spesimen	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Reg. (%)	Reg. rata-rata (%)
1	Tanpa Normalizing	50	56.52	6.2	12.4	11.87
2		50	55.5	5.5	11	
3		50	56.1	6.1	12.2	
1	Normalizing 30 Menit	50	57.42	7.42	14.84	15.21
2		50	57.79	7.79	15.58	
3		50	58.1	8.1	16.2	
1	Normalizing 60 Menit	50	57.11	7.11	14.22	15.41
2		50	57.91	7.91	15.82	
3		50	57.91	7.91	15.82	



Gambar 9. Grafik Rata-rata Regangan Maksimum

Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan pengelasan SAW tanpa perlakuan *normalizing* adalah sebesar 12,40% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 11,87%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan pengelasan SAW perlakuan *normalizing* 30 menit adalah sebesar 15,58% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 15,21%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan pengelasan SAW perlakuan *normalizing* 60 menit adalah sebesar 16,20% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 15,41%.

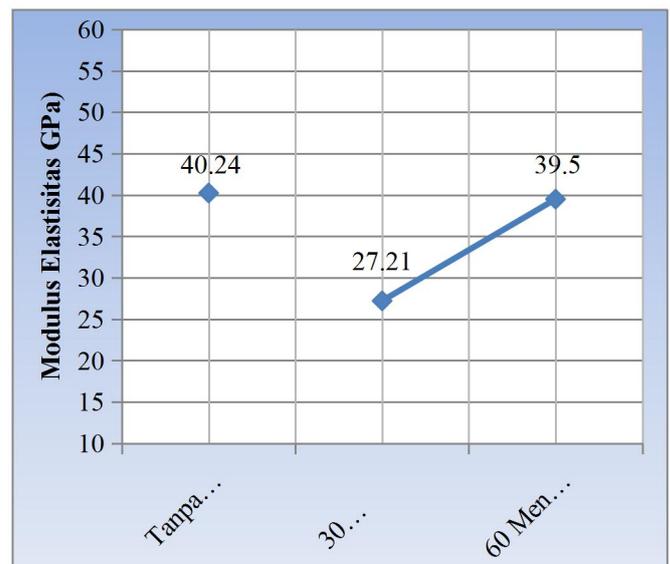
3. Modulus Elastisitas

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 pengelasan SAW tanpa *normalizing* adalah sebesar 62,45 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 40,24 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 pengelasan SAW dengan *normalizing* 30 menit adalah sebesar 32,75 GPa dengan nilai rata-rata modulus

elastisitas sebesar 27,21 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan pengelasan SAW dengan *normalizing* 60 menit adalah sebesar 62,95 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 39,5 GPa.

Tabel 7. Data hasil modulus elastisitas

No.	Spesimen	σ_p (MPa)	Reg. ϵ_y (%)	E (Mpa)	E (GPa)	E Rata-rata (GPa)
1	Tanpa Normalizing	203.05	0.69	29534.55	29.53	40.24
2		205.33	0.71	28746.20	28.75	
3		185.04	0.30	62451.00	62.45	
1	Normalizing 30 Menit	189.8	0.72	26280.00	26.28	29.51
2		176.33	0.54	32747.00	32.75	
3		173.65	0.28	62948.13	62.95	
1	Normalizing 60 Menit	195.24	0.71	27563.29	27.56	39.53
2		162.88	0.58	28082.76	28.08	
3		162.88	0.58	28082.76	28.08	



Gambar 10. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4, maka pengelasan SAW perlakuan *normalizing* 60 menit sifat yang lebih kaku dan ulet dibandingkan dengan *normalizing* 30 menit.

3.5. 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 :

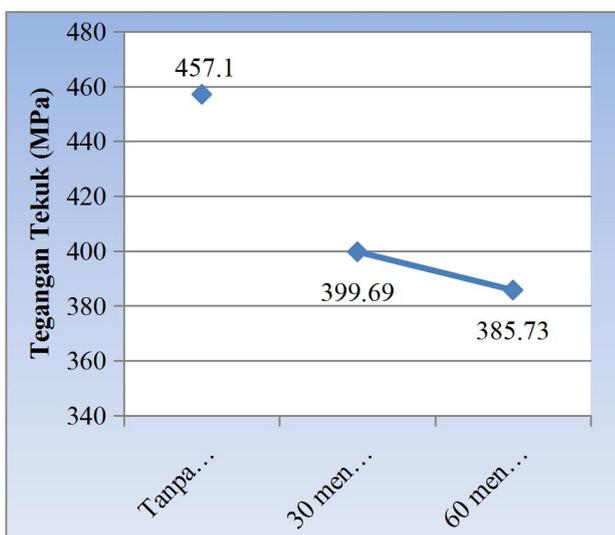
Tabel 8. Data Hasil Uji Tekuk

No. Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	ΔL rusak (mm)	Pmax (KN)	Teg. Tekan (Mpa)	Rata-rata
1	39.14	9.90	20.75	28.43	500.25	467.89
2 Tanpa	39.29	10.46	23.06	29.23	458.97	
3 Normalizing	39.32	9.88	23.38	26.01	457.42	
4	39.85	10.42	24.09	29.16	454.91	
1	38.40	10.17	24.76	23.69	402.62	399.73
2 Normalizing	38.09	10.20	24.91	24.07	409.99	
3 30 Menit	38.30	10.42	24.99	24.00	389.57	
4	39.10	10.31	25.65	24.43	396.76	
1	38.56	10.40	24.10	24.16	391.02	387.26
2 Normalizing	37.76	10.07	25.82	21.88	385.71	
3 60 Menit	39.37	10.52	24.34	24.90	385.75	
4	39.19	10.11	24.73	22.94	386.56	

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 Hasil Uji Tekuk

No	Spesimen	Teg. Tekan (Mpa)	Rata-rata	Standar Deviasi	Teg. Tekan (Mpa)	Rata-rata Standar Deviasi
1		500.25			500.25	
2	Tanpa	458.97	467.89	21.64	458.97	457.10
3	Normalizing	457.42			457.42	
4		454.91			454.91	
1		402.62			402.62	
2	Normalizing	409.99	399.74	8.67	409.99	399.69
3	30 Menit	389.57			389.57	
4		396.76			396.76	
1		391.02			391.02	
2	Normalizing	385.71	387.49	3.05	385.71	385.73
3	60 Menit	385.75			385.75	
4		386.56			386.56	



Gambar 11. Nilai Rata-rata Tegangan Tekuk

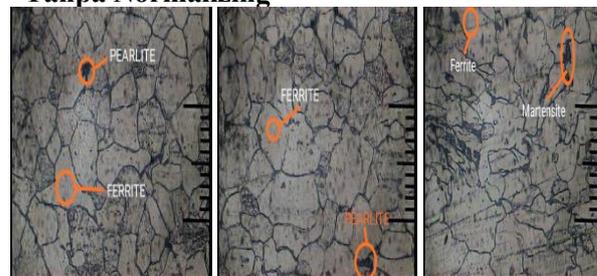
Dari pengujian tekuk yang telah dilakukan pada sambungan baja SS 400, didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 9. terlihat pada baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun memiliki nilai kekuatan tekuk yang lebih baik dari pada spesimen diberi perlakuan yang lainnya yaitu sebesar 457,1 MPa, kemudian disusul dengan perlakuan *normalizing* dengan waktu tahan 30 menit sebesar 399,69 MPa dan perlakuan *normalizing* dengan waktu tahan 60 menit sebesar 385,73 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 waktu penahanan 30 menit dan 60 menit.

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 SAW (*Submerged Arc Welding*) dengan variasi waktu penahanan perlakuan *normalizing* sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro.

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

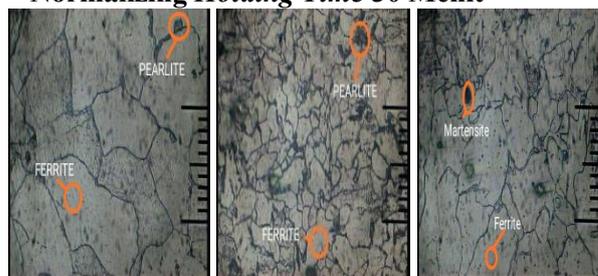
• Tanpa Normalizing



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

Gambar 12. Struktur Mikro Tanpa Normalizing

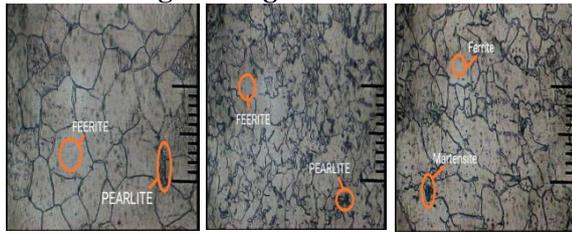
• Normalizing Holding Time 30 Menit



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

Gambar 13. Struktur Mikro Normalizing Holding Time 30 Menit

• Normalizing Holding Time 60 Menit



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

Gambar 14. Struktur Mikro Normalizing Holding Time 60 Menit

Fasa yang bisa dilihat dari ketiga foto di atas adalah *ferrite* yang berwarna putih dan *pearlite* yang berwarna hitam (gelap) serta fasa *martensite* pada daerah las. 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. Fasa *martensite* merupakan fasa yang memiliki sifat keras namun getas.

Berdasarkan hasil dari pengujian mikrografi yang telah dilakukan, dapat diambil hasil bahwa spesimen sambungan las baja SS 400 dengan pengelasan SAW (*Submerged Arc Welding*) dengan *normalizing* 60 menit memiliki sifat kekerasan dan keuletan lebih besar dibandingkan dengan spesimen *normalizing* 30 menit. Hal tersebut terjadi dikarenakan sambungan las baja SS 400 dengan *normalizing* 60 menit memiliki tingkat kerapatan struktur mikro yang lebih baik dan fasa memiliki fasa *ferrite* yang cukup dominan. Semakin rapat struktur mikro suatu spesimen maka semakin keras spesimen tersebut.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan setelah dilakukan pengujian tarik, tekuk, dan mikrografi pada sambungan las SAW baja SS 400 dengan perlakuan *normalizing* suhu 900°C waktu penahanan 30 menit dan 60 menit, adalah sebagai berikut:

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum Tanpa *normalizing* yaitu 215,38 MPa, *normalizing* 30 menit yaitu 200,21 MPa dan *normalizing* 60 menit yaitu 214,67 MPa.

Rata-rata regangan tarik maksimum pada spesimen tanpa *normalizing* yaitu 11,87 %, pada spesimen *normalizing* 30 menit mengalami kenaikan sebesar 3,34 % sedangkan pada spesimen *normalizing* 60 menit juga mengalami kenaikan yaitu sebesar 3,54 % dari spesimen tanpa *normalizing*.

Modulus elastisitas rata-rata pada spesimen tanpa *normalizing* yaitu 40,24 GPa, spesimen *normalizing* 30 menit yaitu 27,21 GPa dan pada spesimen *normalizing* 60 menit mengalami kenaikan sebesar 45,16% dari spesimen *normalizing* 30 menit.

Kekuatan rata-rata tegangan tekuk maksimum spesimen tanpa *normalizing* yaitu 457,10 MPa, spesimen *normalizing* 30 menit yaitu 399,69 MPa dan spesimen *normalizing* 60 menit yaitu 385,73 MPa.

Hasil pengelasan dengan *normalizing* 60 menit memiliki kerapatan lebih tinggi dan memiliki fasa *ferrite* yang cukup dominan dibandingkan dengan spesimen *normalizing* 30 menit. Hal ini berarti sambungan las SAW dengan perlakuan *normalizing* serta waktu penahanan 60 menit memiliki sifat kekerasan dan keuletan yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penulisan artikel ini penulis menyadari bahwa artikel 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 moril maupun materiil kepada penulis dalam penyusunan artikel ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada kedua Orang tua yang selalu memberi dukungan dalam menyelesaikan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Primasatya, *Pengukuran Besarnya Distorsi Angular dan Tegangan Sisa Pada Baja JIS G3101-SS 400 dengan Menggunakan Proses Pengelasan FCAW*. Depok: Departemen Metalurgi dan Material, Universitas Indonesia, 2009.
- [2] S. Jokosisworo, *Pengaruh Perbedaan Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Sambungan T-Joint Pengelasan Fillet Dengan Las FCAW Pada Plat Mild Steel*. Semarang: Jurnal Perkapalan Vol. 7, No 2. Universitas Diponegoro, 2010.
- [3] B. V. 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.
- [4] M. Karo-Karo, *Pengaruh normalizing ulang terhadap sifat kelelahan baja DIN 42MnV7*, Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, 2001.
- [5] E. S. Hadi, *Analisa Pengelasan Mild Steel (ST 42) Dengan Proses SMAW, FCAW, SAW Ditinjau Dari Segi Kekuatan Dan Nilai Ekonomis*. Semarang : Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 6, No.2 : 116-117, 2015.

- [6] A. S. Sarwo, *Pengaruh Proses Normalizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro pada sambungan Las Thermite Baja Np-42*. Semarang : Jurnal Teknik Mesin S-1 Universitas Diponegoro. Vol. 02, No 3: 249, 2014.
- [7] H. Wiryoso, *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan ke-7. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta, 1996.
- [8] A. H. Yuwono, *Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material I Pengujian Merusak (Destructive Testing)*. Jakarta: Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009.
- [9] R. Setiaji, *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI, 2009.
- [10] A. Naufal, *Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Sudut Kampuh V Terhadap Kekuatan Tarik dan Tekuk Aluminium 5083 Pengelasan Gtaw*. Semarang: Universitas Diponegoro, 2016.
- [11] *Metallography and Microstructure*. ASM Metals Handbook, Vol 9, 2004.
- [12] ASTM E8/E8M-09. *Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*. USA, 2009.
- [13] ASTM E190-14, *Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds*, 2014.
- [14] F. B. Yusuf, *Analisa Sifat Mekanik Hasil Pengelasan GMAW Baja SS 400 Studi Kasus di PT.INKA Madiun*. Surabaya: Digital Library Institut Teknologi Surabaya, 2011.