



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Temperatur *Normalizing* Pada Sambungan Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) Terhadap Kekuatan Tarik , Tekuk dan Mikrografi Baja Karbon Rendah

Hristo Anggigi¹⁾, Untung Budiarto¹⁾Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : hristo.anggigi69@gmail.com, budiartountung@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com

Abstrak

Baja SS 400 adalah jenis baja karbon rendah yang mempunyai kadar karbon dibawah 0,3%. Pada bidang perkapalan baja karbon rendah merupakan bahan utama untuk pembuatan konstruksi kapal, seperti pada konstruksi lambung kapal. Pengelasan SMAW (*Shielded-Metal Arc Welding*) adalah salah satu teknik pengelasan yang banyak digunakan dalam perindustrian dan rangka konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil kekuatan tarik, tekuk, dan struktur mikrografi dari sambungan las baja SS 400 dengan perbedaan suhu dari perlakuan panas *normalizing*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dimulai dari mempersiapkan baja SS400, pemotongan baja, pengelasan baja, *normalizing* hingga uji. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa faktor besar suhu pada perlakuan *normalizing* pada hasil pengelasan mempengaruhi kualitas sambungan ditinjau dari kekuatannya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 391,02 MPa, rata-rata regangan sebesar 47,85%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 182,28 GPa. Serta memiliki tegangan tekuk sebesar 457,1 MPa. Baja SS 400 dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu sebesar 900°C memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 290,27 MPa, rata-rata regangan sebesar 52,29%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 150,67 GPa. Serta memiliki tegangan tekuk sebesar 405,68 MPa dan Baja SS 400 dengan diberi perlakuan *normalizing* 975°C memiliki rata-rata kekuatan tarik sebesar 289,24 MPa, rata-rata regangan sebesar 52,83%, dan rata-rata modulus elastisitas sebesar 119,91 GPa. Serta memiliki tegangan tekuk sebesar 367,18 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baja SS 400 dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C memiliki kekuatan yang lebih besar daripada specimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C.

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

1. PENDAHULUAN

Plat baja merupakan salah satu bahan (material) yang banyak digunakan untuk konstruksi *engineering* seperti untuk bejana tekan, ketel uap dan kapal laut. Berdasarkan komposisi kimia dari plat baja dapat dibagi menjadi baja karbon dan baja paduan. Baja karbon dibagi menjadi beberapa jenis diantaranya baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi. Jenis baja yang banyak digunakan dalam konstruksi *engineering* adalah baja karbon rendah karena mempunyai sifat mekanis yang baik dan banyak digunakan pada kondisi *normalizing* untuk keperluan berbagai macam konstruksi.

Salah satu material baja karbon rendah adalah 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 Fosfor (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. [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]

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam. Busur listrik terbentuk diantara elektroda terlindung dan logam induk karena panas dari busur listrik maka logam induk dan ujung elektroda mencair dan membeku bersama. [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 minimum terjadi pada proses *normalizing* pada holding time 40 menit ($\sigma_u = 328,72$ MPa) sedangkan kekuatan tarik maksimum terjadi pada raw material ($\sigma_u = 559,92$ MPa). [4]

Pada penelitian lainnya tentang pengaruh suhu *normalizing* terhadap sifat fisis dan mekanik las baja kapal menggunakan jenis pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) menunjukkan kekuatan tarik maksimal dihasilkan sebesar 419,88 MPa menggunakan posisi pengelasan 1G. [5]

Pada penelitian lainnya tentang hasil mikrografi setelah *normalizing* didapat bahwa terdapat struktur *pearlite* dan *ferrite* yang kasar dan tidak homogen. Perbedaan antara Raw Material dan baja *normalizing* jelas terlihat dari keseragaman dan kehalusan struktur mikronya. [6]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan SMAW 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 sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil uji kekuatan tarik, tekuk yang terjadi pada material baja SS 400 setelah pengelasan dan setelah *normalizing* ?

2. Bagaimana struktur mikro pada material baja SS 400 setelah pengelasan dan *normalizing* ?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu *normalizing* terhadap ketahanan uji tarik, tekuk, dan struktur mikro pada material baja SS 400?

Proses perlakuan panas yang digunakan adalah *normalizing*. Jenis pengelasan menggunakan metode SMAW. Pelat Baja di las dengan posisi 1G (*Down Hand*) dengan menggunakan sambungan las 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 60 menit dengan menggunakan logam pengisi/elektroda (*Filler metal*) yaitu elektroda E6013.

Pengujian tarik di laboratorium dengan standar ASTM E8 1,2 mm. Pengujian tekuk di laboratorium dengan standar ASTM E190-14 serta uji material yang dilakukan adalah dengan uji tarik, uji tekuk, dan mikrografi dengan menggunakan spesimen tiap-tiap variasi suhu adalah empat spesimen. 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* serta spesimen yang digunakan adalah jenis baja SS 400 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society for Testing and Material*).

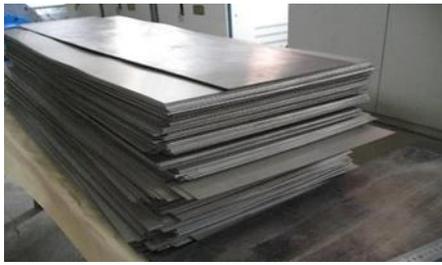
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang kekuatan uji tarik, tekuk dan perubahan struktur mikro pada material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan SMAW dan diberi perlakuan panas *normalizing* dengan variasi suhu.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

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

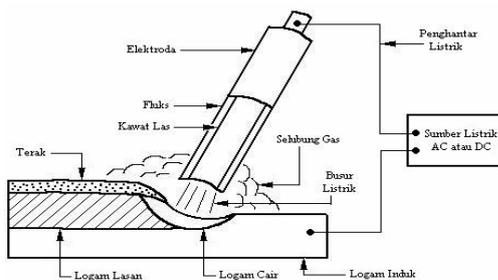
Objek yang diteliti pada penelitian tugas akhir ini adalah Baja SS 400, dimana jenis baja ini merupakan jenis baja karbon rendah yang sering digunakan sebagai rangka konstruksi, termasuk rangka konstruksi dalam bangunan kapal seperti konstruksi lambung kapal.



Gambar 1. Plat Baja SS 400

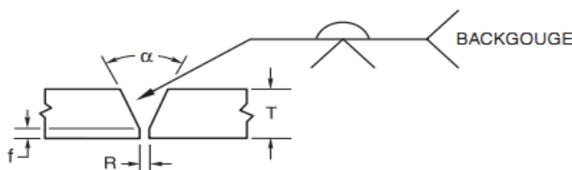
Pengelasan adalah proses penyambungan antara beberapa material logam atau non logam yang dilakukan dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), serta dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*) yang menghasilkan sambungan yang kontinu. Pada penelitian lainnya, didapat bahwa pengelasan SMAW dengan menggunakan tekanan menghasilkan sambungan yang kontinu.[7]

Las busur listrik elektroda terlindung atau lebih dikenal dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pengelasan menggunakan busur nyala listrik sebagai panas pencair logam, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harganya terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya selain bisa dilakukan dalam berbagai posisi pengelesan ini juga memiliki variasi dalam gerakan elektrodanya yaitu gerakan spiral, sig-zag, maupun lurus. [8]



Gambar 2. Skema Pengelasan SMAW

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 3. 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. [9] 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. [4] 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 perputahan (*fracture*).

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

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

2. Regangan maksimum (*e*)
Regangan maksimum dapat menunjukkan pertambahan panjang dari suatu material setelah perputahan terhadap panjang awalnya.

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

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

Dimana, L_i adalah Panjang sesudah patah (mm), L₀ 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), σ adalah Tegangan Maksimum (KN/mm²), dan e adalah Regangan (%).

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

Uji tekuk (*bendingtest*) 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. [10]

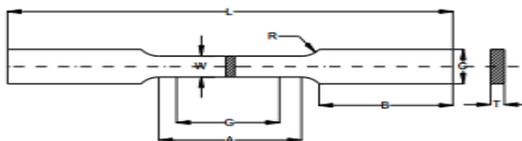
Agar mendapatkan hasil maksimal maka penelitian ini menggunakan pengujian *face transversal bending*. Dikatakan *face bend* jika *bending* dilakukan sehingga permukaan las mengalami tegangan tarik dan dasar las mengalami tegangan tekan. Pengamatan dilakukan pada permukaan las yang mengalami tegangan 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). [11]

Uji mikrografi adalah pengujian visual yang dilakukan terhadap material dengan tujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro dari sebuah logam atau paduan. Struktur mikro dari suatu logam atau paduan dapat diketahui melalui pengujian mikrografi dengan memperjelas batas-batas butir pada material sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya. [12]

2.2. Parameter Penelitian

1. Parameter Tetap

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

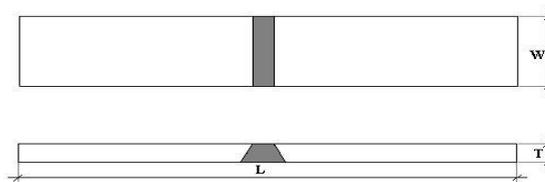


Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji Tarik [13]

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 5. Bentuk Spesimen Tekuk [14]

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tekuk

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

2. Parameter Perubahan

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

2.3. Lokasi Penelitian

Pada penelitian Tugas Akhir ini, proses pengelasan SMAW 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.

2.4. Alat dan Bahan

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

1. Gerinda dan Penggaris



2. Amplas dan Kapur



3. Mesin uji mikrografi dan Mesin Las SMAW



4. Baja SS 400 dan Elektroda E6013 1,2 mm



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 [5]

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%, sulfur (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

Pada proses pengelasan SMAW (*Shielded-Metal Arc Welding*), dengan mempertimbangkan ketebalan plat dan jenis bevel las yang telah dibuat, maka digunakan jenis elektroda E6013 1.2 mm dengan menggunakan kuat arus pada kampuh V posisi pengelasan 1G specimen pertama sebesar 105 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,6 cm/menit, kampuh V posisi 1G specimen kedua sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 13,2 cm/menit, kampuh V posisi 1G specimen ketiga sebesar 105 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 12,85 cm/menit, dan kampuh V posisi 1G specimen keempat sebesar 100 A dengan kecepatan pengelasan yg dihasilkan 12,25 cm/menit. voltase sebesar 25 volt untuk semua posisi pengelasan.

3.2. Masukan Panas (*Heat Input*)

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

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

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 material baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas *normalizing*.

1. Tegangan Tarik

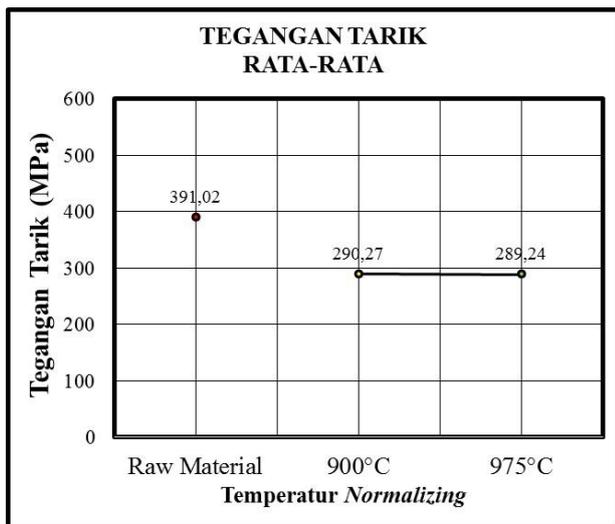
Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai tegangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan variasi suhu *normalizing* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Data hasil pengujian tegangan Tarik

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Pmax (KN)	σ Max (MPa)	σ Max Rata-Rata (Mpa)	Standar Deviasi
1	Raw Material	14,14	10,70	55,67	391,42	389,30	3,51
2		14,18	10,18	55,62	391,51		
3		14,02	10,05	54,70	390,13		
4		14,13	9,67	53,16	384,12		
5	Normalising	12,50	9,76	35,67	292,38	286,89	10,00
6	900°C, 60 Menit	11,70	10,05	32,54	276,74		
7		11,80	9,87	33,37	286,52		
8		11,67	10,03	34,17	291,93		
9	Normalising	11,05	9,94	31,60	287,70	292,67	9,38
10	975°C, 60 Menit	11,05	10,05	31,83	286,62		
11		11,92	9,83	34,38	293,41		
12		10,97	9,53	31,67	302,93		

Tabel 5. Data Tegangan Tarik Yang Memenuhi Standar Deviasi

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Pmax (KN)	σ Max (MPa)	σ Max Rata-Rata (Mpa)
1	Raw Material	14,14	10,70	55,67	391,42	391,02
2		14,18	10,18	55,62	391,51	
3		14,02	10,05	54,70	390,13	
4	Normalising	12,50	9,76	35,67	292,38	
5	900°C, 60 Menit	11,80	9,87	33,37	286,52	290,27
6		11,67	10,03	34,17	291,93	
7	Normalising	11,05	9,94	31,60	287,70	
8	975°C, 60 Menit	11,05	10,05	31,83	286,62	
9		11,92	9,83	34,38	293,41	289,24



Gambar 6. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja SS 400 yang tidak diberi perlakuan apapun memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 391,51 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 391,02 MPa. Material baja SS 400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 60 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 292,38 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 290,27 Mpa. Sedangkan material baja SS 400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 293,41 MPa dengan rata-rata

kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 289,24 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 60 menit menghasilkan kualitas sambungan las yang lebih baik dibandingkan dengan sambungan las baja SS400 yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai kekuatan tarik sebesar 290,27 MPa.

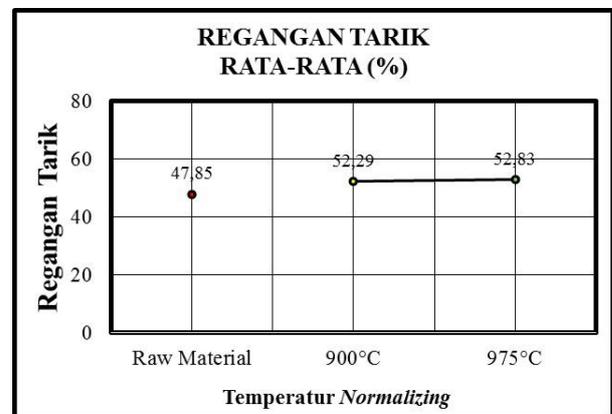
2. Regangan Tarik

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 6. Data hasil pengujian regangan tarik

No.	Spesimen	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	Reg (%)	Reg Rata-Rata (Mpa)
1	Raw Material	50,00	73,41	23,41	46,82	47,85
2		50,00	74,22	24,22	48,84	
3		50,00	73,84	23,84	47,88	
4	Normalising	50,00	73,61	28,53	57,06	
5	900°C, 60 Menit	50,00	66,08	26,40	52,80	52,29
6		50,00	67,55	23,51	47,02	
7	Normalising	50,00	75,68	25,08	50,16	
8	975°C, 60 Menit	50,00	77,64	22,51	45,02	
9		50,00	75,50	23,65	60,30	52,83



Gambar 7. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan tidak

diberi perlakuan apapun adalah sebesar 48,84% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 47,85%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 900°C dan waktu tahan 60 menit adalah sebesar 57,06% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 52,29%. Sedangkan nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit adalah sebesar 63,30% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 52,83%.

3. Modulus Elastisitas

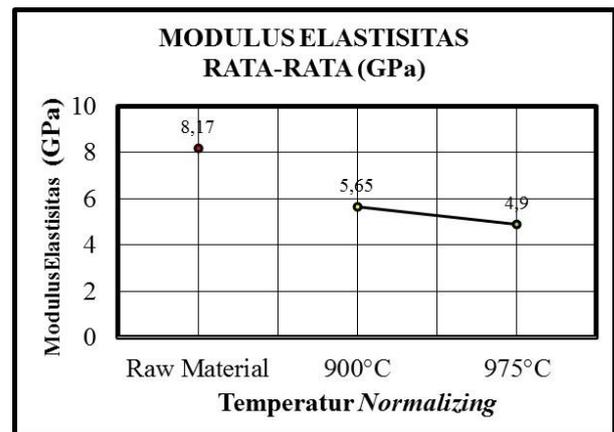
Pada kebanyakan bahan teknik terdapat hubungan antara tegangan dan regangan. Untuk setiap peningkatan tegangan terjadi peningkatan regangan yang sebanding, sebelum batas tegangan dicapai. Perbandingan antara tegangan dan regangan menghasilkan konstanta. Konstanta tersebut dikenal dengan modulus elastisitas (E). Secara fisik, modulus elastisitas mengukur kekakuan bahan terhadap respon pada beban yang bekerja dan menunjukkan sifat tertentu bahan. Bahan yang kaku didefinisikan sebagai bahan yang mampu bertahan pada tegangan tanpa terjadi regangan yang besar. Berikut adalah perhitungan modulus elastisitas yang bertujuan untuk mengetahui kekakuan suatu material.

Tabel 7. Data hasil modulus elastisitas

No.	Spesimen	σ Max (MPa)	Regangan e (%)	E (MPa)	E e (GPa)	E Rata-Rata (Gpa)
1	Raw Material	391.00	46.82	8351.13	8.35	8.17
2		392.00	48.84	8026.21	8.03	
3		390.00	47.88	8145.36	8.15	
4	Normalising	292.38	57.06	5124.03	5.12	5.65
5	900°C	296.52	52.80	5615.94	5.62	
6		291.93	47.02	6208.56	6.21	
7	Normalising	280.70	56.16	4998.20	5.00	4.90
8	975°C	282.62	55.02	5136.70	5.14	
9		288.41	63.30	4556.25	4.56	

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 216.58 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 182,28 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 900°C dan waktu tahan 60 menit adalah sebesar 160,05 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 150,67 GPa. Sedangkan Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja SS 400 dengan perlakuan normalizing dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit adalah sebesar

128,96 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 119,91 GPa.



Gambar 8. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4, maka sambungan las dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 60 menit memiliki sifat yang lebih kaku dan ulet dibandingkan dengan sambungan las dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit.

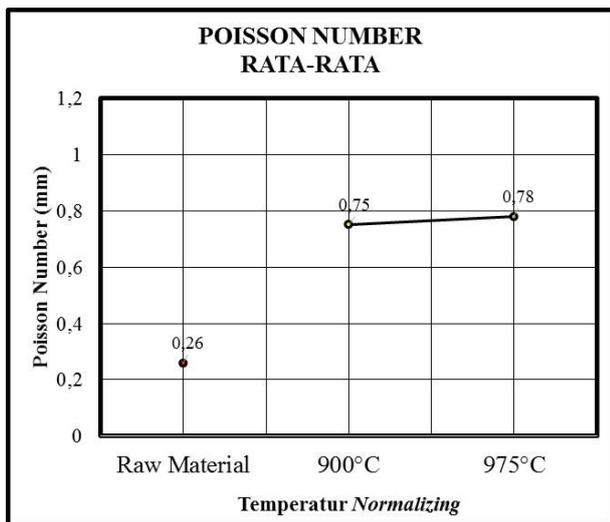
3.5 Poisson Number

Setiap pemanjangan Δl 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.[14] Maka didefinisikanlah apa yang dikenal dengan Angka Banding Poisson, m selaku tetapan kesebandingan yang menurut hubungan berikut.

$$Poisson, V = - \frac{\text{Regangan Transversal}}{\text{Regangan Longitudinal}}$$

Tabel 8. Data hasil perhitungan Poisson Number

No.	Spesimen	Regangan Transversal	Regangan Longitudinal	Poisson Number	Rata-Rata
1	Raw	0.14	0.56	0.25	0.26
2		0.21	0.57	0.37	
3		0.12	0.58	0.00	
4		0.13	0.58	0.22	
5	900°C	0.37	0.47	0.78	0.75
6		0.44	0.46	0.86	
7		0.20	0.32	0.61	
8		0.22	0.35	0.62	
9	975°C	0.43	0.51	0.40	0.78
10		0.44	0.55	0.80	
11		0.41	0.51	0.80	
12		0.35	0.35	0.68	



Gambar 9. Grafik Rata-rata Poisson Number

3.6 Hasil Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

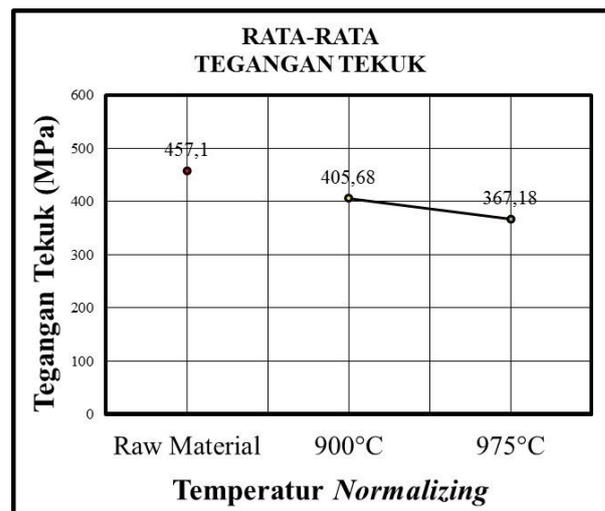
Plat baja SS 400 yang telah dibentuk spesimen sesuai standar ASTM E190-14 dengan dimensi ukuran 152 mm x 38 mm x 10 mm kemudian di uji tekuk untuk mengetahui kekuatan tekuk dari material baja SS400 setelah di las menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan posisi pengelasan 1G dan kampuh *single V-Butt joint* dengan sudut 60° dan telah diberi perlakuan panas berupa normalizing dengan suhu 900°C dan 975°C dengan waktu tahan selama 60 menit. 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 9. Data Hasil Uji Tekuk

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	ΔL Pmax (mm)	PMax (KN)	Teg. Bending (Mpa)	Rata-Rata	Standar Deviasi
1	Raw Material	39.14	9.90	28.11	31.11	480.25	462.89	11.2
2		39.29	10.46	28.56	32.70	458.97		
3		39.32	9.88	28.78	31.54	457.42		
4		39.85	10.24	29.05	32.66	454.91		
5	Normalising	38.56	10.13	26.27	23.29	400.21	408.94	9.1
6	900°C, 60 Menit	38.20	9.96	25.75	23.45	418.70		
7		38.89	10.09	26.19	24.02	409.50		
8		38.76	10.07	25.52	23.72	407.36		
9	Normalising	38.80	9.95	25.90	21.50	377.80	361.44	16
10	975°C, 60 Menit	38.81	10.61	23.89	21.89	344.20		
11		38.75	10.17	24.01	21.56	363.11		
12		39.05	10.30	24.25	21.52	360.63		

Tabel 10. Data Tegangan Tekuk Yang Memenuhi Standar Deviasi

No.	Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	ΔL Pmax (mm)	PMax (KN)	Teg. Bending (Mpa)	Rata-Rata
1	Raw Material	39.29	10.46	28.56	32.70	458.97	457.10
2		39.32	9.88	28.78	31.54	457.42	
3		39.85	10.24	29.05	32.66	454.91	
4	Normalising	38.56	10.13	26.27	23.29	400.21	405.69
5	900°C, 60 Menit	38.89	10.09	26.19	24.02	409.50	
6		38.76	10.07	25.52	23.72	407.36	
7	Normalising	38.80	9.95	25.90	21.50	377.80	367.18
8	975°C, 60 Menit	38.81	10.61	23.89	21.89	344.20	
9		38.75	10.17	24.01	21.56	363.11	



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 457,1 Mpa, kemudian disusul dengan perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 405,68 Mpa dan perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 367,18 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 60 menit.

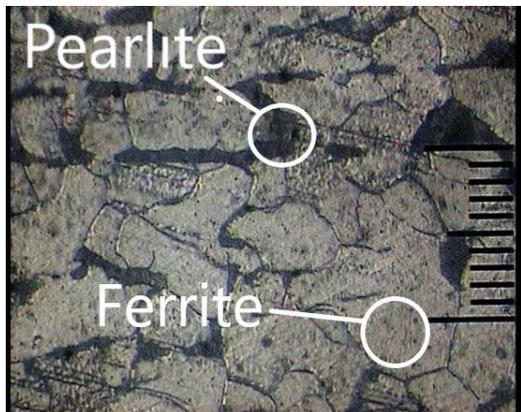
3.7 Struktur Mikro

Pengujian mikrofografi pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur mikro pada sambungan las baja SS 400 setelah dilakukan pengelasan SMAW (*Shielded-Metal Arc Welding*) dengan variasi suhu perlakuan panas

sehingga dapat diketahui perubahan struktur mikro.[15]

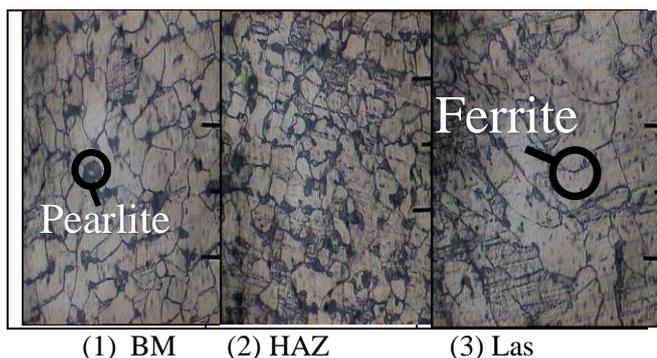
Dari hasil pengujian struktur mikro sambungan las baja SS 400 didapatkan hasil sebagai berikut :

•**Raw Material**



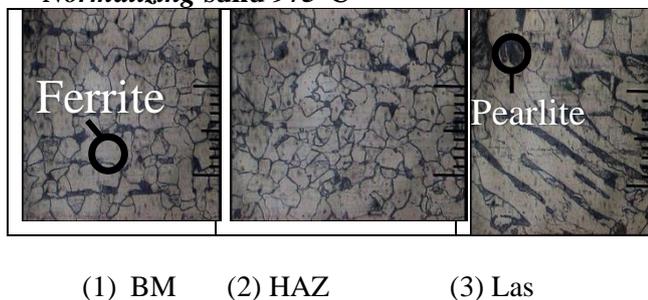
Gambar 11. Struktur Mikro Raw Material

•**Normalizing suhu 900°C**



Gambar 12. Struktur Mikro Normalizing suhu 900°C

•**Normalizing suhu 975°C**



Gambar 13. Struktur Mikro Normalizing suhu 975°C

Fasa yang bisa dilihat dari ketiga 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.

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 60 menit adalah sebagai berikut :

Kekuatan rata-rata tegangan tarik maksimum terbesar dihasilkan dari sambungan las SMAW (*Shielded-Metal Arc Welding*) dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C sebesar 290,27 Mpa, dan yang terkecil dihasilkan dari spesimen yang diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C sebesar 289,24 Mpa, dan hasil uji yang lainnya adalah dengan tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 391,02 MPa.

Rata-rata regangan tarik terbesar dihasilkan dari sambungan las SMAW (*Shielded-Metal Arc Welding*) dengan diberi *normalizing* dengan suhu 975°C perlakuan apapun adalah 52,83%, dan yang terkecil dihasilkan oleh spesimen yang tidak diberi perlakuan apapun adalah sebesar 47,85%, dan hasil uji yang lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C adalah sebesar 52,29.

Tegangan tekuk tertinggi diperoleh pada specimen yang tidak diberi perlakuan apapun sebesar 457,1 MPa, dan yang terkecil dihasilkan oleh specimen diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 975°C adalah sebesar 367,18 MPa, dan hasil uji lainnya adalah dengan diberi perlakuan *normalizing* dengan suhu 900°C sebesar 405,68 MPa.

Dengan begitu dapat ditarik kesimpulan bahwa *Normalizing* dengan suhu 900°C dan 975°C dapat menurunkan tegangan tarik dan tekuk sebesar kurang lebih 100 Mpa namun dapat menaikkan regangan sehingga didapat keuletan yang lebih baik. Holding time sendiri merupakan faktor yang amat penting pada penelitian ini, dimana holding time 60 menit untuk *normalizing* dirasa terlalu lama dan hasilnya lebih maksimal untuk holding time 30 menit.

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 formil maupun materil kepada penulis dalam penyusunan artikel ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Orang tua, Dosen Pembimbing 1 dan 2 yang telah memberikan petunjuk, bantuan, serta dukungan dalam menyelesaikan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siswanto. *Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik)*. Jakarta : P.T Prestasi Pustakarya. 2011.
- [2] Bondan, T. Sofyan. *Pengantar Material Teknik* Jakarta: Salemba Teknika. 2010.
- [3] Wiryosumarto. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. 2000
- [4] 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. 2008.
- [5] M. Karokaro. *Pengaruh normalizing ulang terhadap sifat kelelahan baja DIN 42MnV7*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. 2001.
- [6] A. Sarwo. *Pengaruh proses normalizing terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada sambungan las thermite baja NP 42*. Semarang: Jurnal Teknik Mesin. Universitas Diponegoro. 2014.
- [7] 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.
- [8] T. Surdia. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Edisi 2. PT Pradnya Paramita. Jakarta. 1995.
- [9] S. Widharto. *Petunjuk Kerja Las*. Cetakan Keenam. PT Pradnya Paramita. Jakarta. 1995.
- [10] E. Lincoln. *The Procedure Hand Book Of Arc Welding*. Edisi Ke 2. Ohio. 1973.
- [11] H. Wiryoso. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cetakan ke-7. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta. 1996.
- [12] Winkler. *The Welding Engineer's Current Knowledge*. Edition 06/07. Institute in the German Welding Society. 2006.
- [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] R. Setiaji. *Pengujian Tarik*. Jakarta: Laboratorium Metalurgi Fisik FTUI. 2009.