



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Variasi Proses Preheating Pada Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Baja ST 60

Farel Mauluvi Akmal Antaqiya¹⁾, Untung Budiarto¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾

¹⁾Laboratorium Pengelasan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : farelmauluvia@gmail.com, budiartountung@gmail.com, jito_sar@yahoo.com

Abstrak

Baja ST 60 di bidang perkapalan difungsikan sebagai material konstruksi secara umum. Pengelasan SMAW banyak digunakan dalam pembangunan dan reparasi kapal karena metodenya yang fleksibel. Dalam proses pengelasan pada baja biasanya menyebabkan logam disekitar daerah las mengalami siklus termal cepat sehingga terjadi perubahan sifat metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Perlakuan proses preheating dilakukan untuk menghindari terjadinya retak las. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil kekuatan tarik dan struktur mikro dari spesimen non preheating, preheat suhu 300°C dan 400°C pada baja ST 60. Tahapan penelitian : pemotongan plat, pembuatan kampuh Single V, preheating, pengelasan, pembuatan spesimen dan proses pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen preheat suhu 300°C memiliki nilai rata-rata tegangan tarik terbesar dan spesimen preheat suhu 400°C memiliki nilai rata-rata regangan terbesar serta memiliki nilai modulus elastisitas terkecil. Hasil pengujian mikrografi menyatakan bahwa spesimen non preheating memiliki bentuk struktur mikro yang rapat dan memiliki sifat kekerasan yang cukup tinggi. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan pengelasan SMAW preheat suhu 300°C memiliki nilai rata-rata tegangan tarik tertinggi sedangkan nilai rata-rata regangan tertinggi terjadi pada spesimen preheat suhu 400°C.

Kata Kunci : Baja ST 60, Pengelasan SMAW, Preheating, Tarik, Struktur Mikro

1. PENDAHULUAN

Di dalam dunia *engineering* penggunaan baja untuk proses manufaktur ataupun konstruksi terutama di bidang perkapalan sangatlah penting. Salah satunya material Baja ST 60 yang merupakan jenis baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) yang biasa digunakan sebagai bahan alternatif konstruksi kapal [1].

Proses pengelasan memegang peranan yang sangat penting dalam setiap pembangunan suatu konstruksi. Pengelasan merupakan proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang disambung hingga temperatur las dilakukan secara, dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), hanya dengan tekanan (*pressure*), atau dengan tanpa menggunakan pengisi (*filler*). Terdapat berbagai macam pengelasan, salah

satunya adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan proses penyambungan 2 buah logam yang sejenis atau lebih dengan menggunakan sumber panas listrik dengan menggunakan elektroda terbungkus sebagai bahan tambahan atau pengisi sehingga akan membuat sambungan tetap. Tegangan listrik yang digunakan dalam pengelasan ini yaitu 23 - 45 Volt dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere, yang umum digunakan berkisar antara 80-200 ampere.

Proses pengelasan pada baja menyebabkan logam di sekitar daerah las mengalami siklus termal cepat sehingga terjadi perubahan sifat metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal ini dapat mengurangi kekuatan sambungan las sehingga harus dihindari.

Daerah hasil pengelasan dibedakan menjadi 3 bagian yaitu : daerah logam las, HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk. Berikut beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya retak pada las yaitu salah satunya dengan memberikan perlakuan pemanasan awal (*preheating*) pada sambungan las sebelum dilakukannya proses pengelasan [2].

Pada hasil penelitian sebelumnya tentang pengaruh *preheat* dan *post welding heat treatment* dapat dikatakan bahwa spesimen yang diberi perlakuan panas cenderung meningkatkan nilai regangan dibandingkan dengan spesimen raw material. Nilai regangan tertinggi diperoleh pada spesimen yang diberi perlakuan *post welding heat treatment* 650°C yaitu sebesar 3,75% atau mengalami peningkatan sebesar 650% dibanding spesimen raw material [3].

Selanjutnya hasil analisa data mengenai pengaruh *preheat* dengan masing-masing temperature 0°C, 150°C, 200°C dan 250°C terhadap perubahan kekerasan dan ketangguhan pada pengelasan material SA 516 gr 70 menunjukkan bahwa untuk material yang di *preheat* 250°C memiliki nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah *Base Metal* sedangkan yang tidak dilakukan *preheat* memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah *Weld Metal* dan untuk pengujian impact menunjukkan bahwa untuk material yang di *preheat* 250°C memiliki nilai *Impact Strength* yang paling tinggi dan yang tidak dilakukan *preheat* memiliki nilai *Impact Strength* yang paling rendah [4].

Kemudian berdasarkan [5], pengujian Tarik yang dilakukan pada baja ST 60 dengan perlakuan panas tempering memiliki nilai tegangan luluh sebesar 622,33 Mpa dan memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 853,49 Mpa.

Dari penjelasan diatas, maka rumusan masalah yang menjadi pokok bahasan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh proses *preheating*, hasil uji kekuatan tarik pada material baja ST 60 dan perbedaan antara material baja ST 60 yang dilakukan *preheating* dengan yang *non preheating* setelah dilakukan pengelasan SMAW dengan jenis kampuh *Single V-butt joint* sudut 60°.

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penelitian ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan adalah baja yang digunakan adalah tipe baja ST 60, proses *preheating* dengan *holding time* 10 menit, jenis pengelasan menggunakan las SMAW, sambungan pengelasan menggunakan jenis sambungan *Single V-butt joint* dengan sudut 60°, pelat baja dilas dengan posisi 1G (*Down Hand*), uji material yang dilakukan adalah dengan uji tarik dan uji struktur mikro, pengujian tarik dengan

Universal Testing Machine dan Mikrografi dengan *Metallurgical Microscope*, pengujian di Laboratorium Bahan Teknik menggunakan sampel dengan 15 spesimen yang terdiri dari 5 spesimen tiap variasi suhu *preheating* dan 5 spesimen *non preheating*, penelitian hanya dilakukan dengan pengujian tanpa analisis dengan *software*. Terakhir spesimen yang digunakan adalah jenis baja ST 60 dengan bentuk uji standar ASTM (*American Society for Testing and Material*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh struktur mikro dan hasil uji kekuatan tarik yang terjadi pada material baja ST 60 setelah dilakukan proses *preheating* sebelum pengelasan SMAW serta mengetahui perbedaan antara spesimen yang dilakukan *preheating* dan yang *non preheating* pada material baja ST 60.

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan sumbangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pengelasan dan material kapal terhadap dunia pendidikan terutama dalam bidang perkapalan. Memberi tambahan informasi bagi lembaga dan instansi sebagai bahan pertimbangan atau literatur pada penelitian sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi pengelasan pada bidang perkapalan.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari jurnal, buku-buku referensi, modul, artikel, internet, dan studi lapangan secara langsung dengan menggunakan metode eksperimen karena dapat memberikan data yang valid dan dapat dipertanggung jawabkan.

Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah Baja ST 60, dimana jenis baja ini merupakan jenis baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) dengan kandungan karbon sebesar 0,3 - 0,7% dan mempunyai *tensile strength* sebesar 60 kg/mm² atau 600 N/mm².

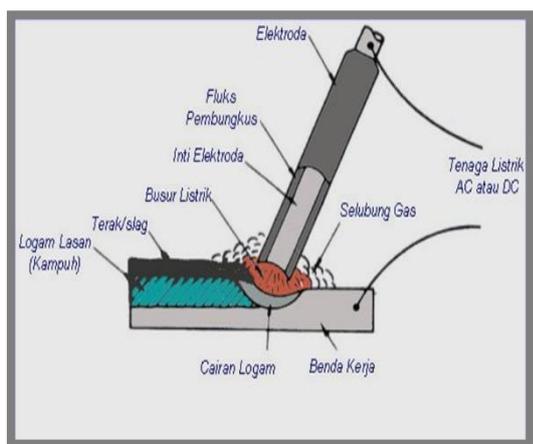


Gambar 1. Plat Baja ST 60

Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang disambung hingga temperatur las yang dilakukan secara logam pengisi yang dilakukan dengan atau tanpa

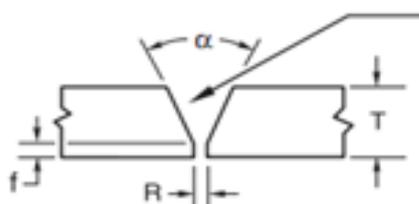
menggunakan tekanan (*pressure*), serta dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*).

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan proses penyambungan 2 buah logam yang sejenis atau lebih dengan menggunakan sumber panas listrik dengan menggunakan elektroda terbungkus sebagai bahan tambahan atau pengisi sehingga akan membuat sambungan tetap, metode ini sangat banyak digunakan dalam pembangunan kapal dan reparasi kapal, disamping harganya terjangkau, juga dikarenakan pengelasan dengan metode SMAW sangat fleksibel dalam penggunaannya. Baik itu pengelasan dengan posisi datar, horizontal, vertikal ataupun posisi diatas kepala (*overhead*).



Gambar 2. Pengelasan SMAW

Proses pengelasan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar AWS NUMBER 3 dengan bentuk kampuh *Single V-Butt joint* dengan sudut 60° .



Gambar 3. Tipe Sambungan Las *Single V-Butt joint* dengan sudut 60° [6]

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).

Definisi preheat menurut AWS (*American Welding Society*) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara *preheat temperature*. Sedangkan *preheat temperature* sendiri adalah suhu dari logam induk disekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan dimulai.

Preheating bisa saja menggunakan gas burner, oxy-gas flame, electric blanket, pemanasan induksi, atau pemanasan di furnace. Pemanasan disekitar area pengelasan disuahkan merata untuk mendapatkan hasil yang bagus. Pemanasan yang berlebihan atau tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa yang tinggi, distorsi, atau perubahan metalurgi yang tidak diinginkan pada logam induk. Perubahan sifat metalurgikal tersebut dapat menyebabkan tumbuhnya *cracking* atau kehilangan tahanan terhadap korosi [7].

Carbon Equivalent digunakan untuk memahami bagaimana unsur paduan yang berbeda mempengaruhi kekerasan baja yang dilas dan sebagai indikator pengaruh unsur-unsur yang terkandung dalam baja tersebut terhadap kemungkinan terjadinya retak. Dibawah ini adalah tabel standar batasan *carbon equivalent* untuk dapat dilas, yaitu :

Tabel 1. Standar batasan CE

Carbon Equivalent (CE)	Weldability
Up to 0,35	Excellent
0,36 - 0,40	Very good
0,41 - 0,45	Good
0,46 - 0,50	Fair
Over 0,50	Poor

Apabila CE sama atau lebih kecil dari 0,45 % maka baja tersebut cukup *weldable* dan pengelasan tidak memerlukan cara-cara khusus, namun bila CE berada diantara 0,40 % dan 0,60 % maka baja tersebut memerlukan perlakuan *preheat*. Dan apabila CE berada lebih dari 0,60 % maka baja itu memerlukan perlakuan *preheat* dan *postheat* pengelasan.

Tabel 2. Suhu Pemanasan Awal (*Preheating*)
Baja Karbon

Kadar Karbon (%)	Preheating
0,2 (Max.)	90 (Max.)
0,2 - 0,3	90 - 150
0,3 - 0,45	150 - 260
0,45 - 0,80	260 - 420

Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, kelembapan dst. Kalau temperatur suhu dinaikkan kekuatan tariknya akan turun dan mempengaruhi nilai modulus elastisitas pada material tersebut. Berlawanan dengan itu, untuk nilai regangan justru akan mengalami kenaikan [8].

Uji tarik adalah salah satu pengujian yang dilakukan pada material untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik material terutama kekuatan dan ketahanan terhadap beban tarik. Material dapat diseleksi sebelum melakukan kegiatan produksi sehingga dalam pemakaian sudah dapat diketahui material itu layak digunakan atau tidak [9].

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 (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_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 (%).

Mikrografi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah logam atau paduan. Melalui proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam atau paduan dengan memperjelas batas-batas butir logam sehingga dapat langsung dilihat dengan menggunakan mikroskop dan diambil gambarnya [10]. Struktur material dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro [11].

2.2. Tahap Penelitian

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

A. Pengumpulan Bahan

Jenis baja yang dipesan yaitu baja ST 60 yang tergolong dalam baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) dengan ukuran panjang 210 mm x lebar 330 mm x tebal 12 mm beserta *certificate material*.

B. Pemotongan Pelat

Dari total ukuran material baja ST 60 yaitu 210 mm x 330 mm x 12 mm kemudian material tersebut dipotong menjadi 6 bagian plat berukuran panjang 105 mm x lebar 110 mm x tebal 12 mm.

C. Pembuatan Kampuh

Kampuh yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Single V-Butt joint* dengan sudut 60°.

D. Proses Heat Treatment

Sebelum dilakukan pengelasan pada baja ST 60, bahan uji terlebih dahulu dilakukan proses heat treatment yaitu *non preheating* dan *preheating*. Untuk perlakuan *preheating* dilakukan dengan cara memanaskan bahan uji dengan *oxy-gas flame* pada suhu 300°C dan 400°C. Bahan uji dipanaskan selama 10 menit.

E. Pengelasan Baja ST 60

Setelah pembentukan sudut kampuh dan perlakuan *heat treatment* dengan variasi proses *preheating* pada plat baja ST 60, lalu plat tersebut

kemudian dilas menggunakan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) di laboratorium las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" dengan detail sebagai berikut:

- a. Jenis pengelasan : SMAW
- b. Mesin Las : DAIDEN MMA 400
- c. Jenis Elektroda : Elektroda E-7016
- d. Logam induk : Baja ST 60 (12 mm)
- e. Voltage : 20 V
- f. Arus (ampere) : 100 A

F. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dibuat sesuai ukuran pada standar ASTM E8, dengan dimensi ukuran 200 mm x 20 mm x 12 mm sebanyak 12 spesimen dan pembuatan spesimen uji mikrografi 30 mm x 20 mm x 12 mm sebanyak 3 spesimen.

G. Proses Pengujian

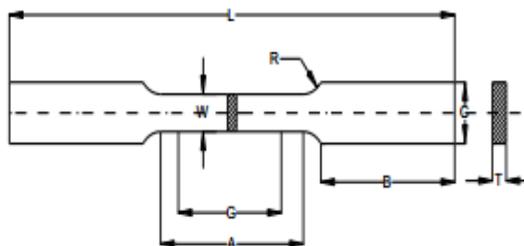
Pengujian spesimen tarik dilakukan di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. Mesin yang digunakan dalam pengujian tarik ini adalah mesin "ContraLab France" yang tersedia di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

Pengujian struktur mikro menggunakan alat "Olympus PME 3" yang tersedia di Laboratorium Teknik Bahan Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

2.3. Parameter Penelitian

A. Parameter Tetap

Pada penelitian ini parameter tetap adalah spesimen baja ST 60 yang termasuk ke dalam baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*), tipe pengelasan yang digunakan adalah pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan besar arus 100 A dan tegangan 20 V, elektroda yang digunakan adalah jenis E 7016 dengan diameter elektroda pengisi 3,2 mm dengan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*) dan dimensi ukuran spesimen uji tarik sebagai berikut :

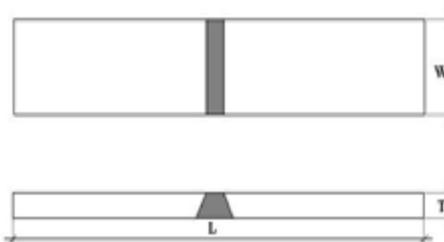


Gambar 4. Bentuk Spesimen Uji Tarik [12]

Tabel 2. 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 Mikrografi

Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Mikrografi

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	30 mm
Width (W)	20 mm
Thickness (T)	12 mm

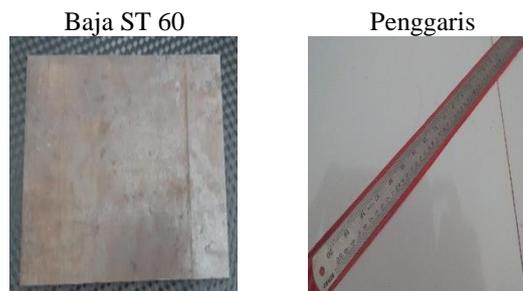
B. Parameter Perubahan

Pada penelitian ini parameter perubahan adalah proses variasi pemanasan awal (*preheating*), posisi pengelasan yaitu 1G (*Down Hand*), jenis kampuh yang digunakan yaitu *Single V-Butt Joint* sudut 60°, pengujian tarik dan pengujian mikrografi.

Pada penelitian ini, proses pemanasan awal (*preheating*) dan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dilakukan di laboratorium las "INLASTEK WELDING INSTITUTE" yang bertempat di Surakarta. Sedangkan proses pengujian tarik dan mikrografi pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta.

2.4. Alat dan Bahan

Dalam proses penelitian yang dilakukan adapun alat dan bahan yang dipergunakan dalam pemotongan ataupun pembuatan spesimen pada material baja ST 60 ini serta dalam pengambilan nilai data pada setiap spesimen antara lain :



tingkat kesesuaian jenis bahan material yang digunakan pada penelitian ini. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) ST 60.



Gambar 6. Alat dan Bahan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi material sangat penting untuk diketahui sebagai validasi untuk menentukan

Tabel 4. Komposisi Material

Unsur	Kandungan (%)
S Sulfur	0,010
C Carbon	0,500
Si Silicon	0,240
Mn Mangan	0,67
P Phosporus	0,018
Ni Nikel	0,01
Cr Chromium	0,04
Mo Molybdenum	0,008
V Vanadium	0,003

Berdasarkan *certificate material* yang diterima, komposisi kimia pada material ini mengandung unsur penyusun utama Mangan (Mn) = 0,67% yang berguna untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan, Silicon (Si) = 0,240% yang berpengaruh meningkatkan kemampuan keseluruhan, tahan aus, ketahanan terhadap panas dan karat. Sedangkan unsur-unsur lain yang didapatkan yaitu : Carbon (C) = 0,500%, Phospor (P) = 0,018%, Sulfur (S) = 0,010%, Nikel (Ni) = 0,01%, Chrom (Cr) = 0,04%, Molybdenum (Mo) = 0,008% dan Vanadium (V) = 0,003%.

Berdasarkan *Rules BKI volume V 2006 For Material* menyebutkan bahwa untuk material pada kapal memiliki komposisi sebagai berikut :

Tabel 5. Batas komposisi material *Rules BKI volume V 2006*

Unsur	Kandungan (%)
S Sulfur	Max. 0,035
C Carbon	Max. 0,65
Si Silicon	Max. 0,45
Mn Mangan	0,3 – 1,70
P Phosporus	Max. 0,035

Dari kedua tabel tersebut menyatakan bahwa kadar / komposisi kimia material yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan *Rules BKI volume V 2006* sebagai material konstruksi pondasi kamar mesin pada kapal.

Berdasarkan persamaan rumus hitung CE (*Carbon Equivalent*) menurut standar JIS perhitungan kadar *Carbon Equivalent* yang ada pada material baja ST 60 ini yaitu :

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{6} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{Si}{24} \quad (\%)$$

$$= 0,62 \%$$

Dari nilai CE (*Carbon Equivalent*) yang dimiliki pada material baja ST 60 maka proses perlakuan *heat treatment* perlu dilakukan.

3.1. Hasil Pengelasan dan Heat Input

Dalam pengelasan pada penelitian ini menggunakan metode pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan memperimbangkan diameter elektroda, *voltage*, *ampere*, dan sudut kampuh mempunyai tujuan agar masukan panas (*heat input*) dan penetrasi sambungan las dapat maksimal. Dari pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang sudah dilakukan didapatkan rata-rata kecepatan pengelasan sebesar 8 - 12 cm/menit, sehingga nilai *heat input* sebesar :

$$\text{Heat Input} = \frac{60 \times 20v \times 100A}{10 \text{ cm/menit}} = 12000 \text{ J/cm}$$

3.2. Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar uji ASTM E8 pada tanggal 15 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 ST 60 setelah dilakukan variasi proses *preheating* dan *non preheating* sebelum pengelasan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan bentuk kampuh *Single V-Butt Joint*.

1. Tegangan Tarik

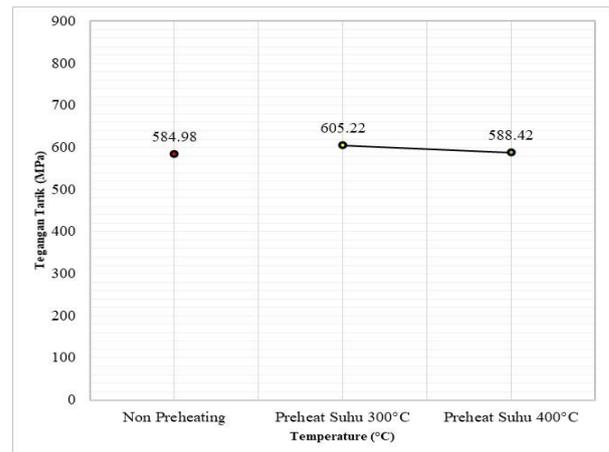
Berdasarkan dari hasil pengujian yang dilakukan, nilai tegangan tarik maksimum yang diperoleh dari material baja ST 60 dengan variasi proses *preheating* adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Data hasil pengujian tegangan Tarik

Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	P max (KN)	Standar Deviasi	Teg. Tarik (MPa)	Teg. Tarik Rata-Rata (MPa)
Non Preheating	13,89	12,27	102,38	20,86	600,71	593,64
	13,33	12,01	93,08		581,41	
	13,58	12,22	102,82		619,59	
	13,76	12,15	95,77		572,84	
Preheat 300°C	14,32	12,07	105,69	29,23	611,48	591,98
	13,55	12,09	90,47		552,25	
	14,07	12,15	105,35		616,26	
	14,05	12,02	99,29		587,93	
Preheat 400°C	14,08	12,36	103,78	31,69	596,34	578,06
	13,67	12,07	101,15		613,04	
	13,18	12,08	87,09		547,00	
	14,43	12,17	97,62		555,88	

Tabel 7. Data hasil pengujian tegangan Tarik yang memenuhi Standar Deviasi

Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	P max (KN)	Δl max (mm)	Teg. Tarik (MPa)	Teg. Tarik Rata-Rata (MPa)
Non Preheating	13,89	12,27	102,38	10,96	600,71	584,98
	13,33	12,01	93,08	8,82	581,41	
	13,76	12,15	95,77	9,99	572,84	
Preheat 300°C	14,32	12,07	105,69	10,74	611,48	605,22
	14,07	12,15	105,35	10,89	616,26	
	14,05	12,02	99,29	10,44	587,93	
Preheat 400°C	14,08	12,36	103,78	11,25	596,34	588,42
	13,67	12,07	101,15	11,30	613,04	
	14,43	12,17	97,62	10,55	555,88	



Gambar 7. Grafik Rata-rata Tegangan Tarik

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa material baja ST 60 spesimen *non preheating* memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 600,71 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 584,98 MPa. Material baja ST 60 dengan spesimen *preheat 300°C* memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 616,260 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 605,22 MPa. Sedangkan material baja ST 60 dengan spesimen *preheat 400°C* memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 613,04 MPa dengan rata-rata kekuatan tarik yang dihasilkan adalah sebesar 588,42 MPa.

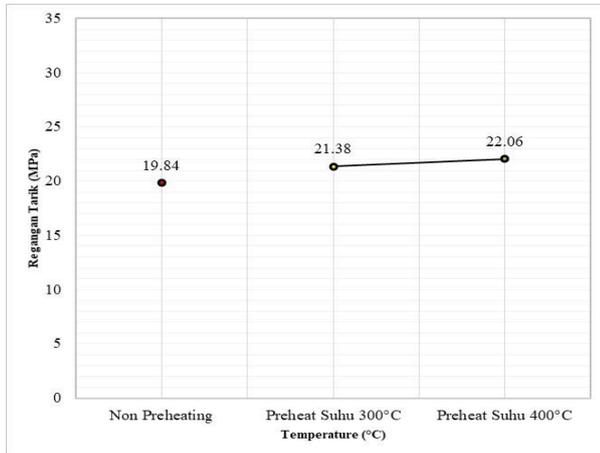
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini, hasil pada spesimen *preheat* suhu 300°C memiliki nilai tegangan tarik tertinggi daripada variasi *preheat 400°C* dan *non preheating*. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 605,22 MPa.

2. Regangan Tarik

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 dengan variasi proses *preheating* pada pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Data hasil pengujian regangan Tarik

Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	P max (KN)	Δl max (mm)	Reg. Tarik (%)	Reg. Tarik Rata-Rata (%)
Non Preheating	13,89	12,27	102,38	10,96	21,92	19,84
	13,33	12,01	93,08	8,82	17,64	
	13,76	12,15	95,77	9,99	19,98	
Preheat 300°C	14,32	12,07	105,69	10,74	21,48	21,38
	14,07	12,15	105,35	10,89	21,78	
	14,05	12,02	99,29	10,44	20,88	
Preheat 400°C	14,08	12,36	103,78	11,25	22,50	22,06
	13,67	12,07	101,15	11,30	22,60	
	14,43	12,17	97,62	10,55	21,10	



Gambar 8. Grafik Rata-rata Regangan Tarik

Berdasarkan tabel di atas nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 pada variasi *preheat* suhu 400°C sebesar 22,60% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 22,06%. Nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 dengan variasi suhu *preheat* 300°C sebesar 21,78% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 21,38%. Sedangkan nilai regangan tarik maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 *non preheating* sebesar 21,92% dengan nilai rata-rata regangan tarik sebesar 19,84%.

Dari nilai regangan tersebut dapat diketahui bahwa apabila pada material spesimen tersebut dilakukan pemanasan awal (*preheat*) akan menimbulkan nilai regangan tarik yang tinggi.

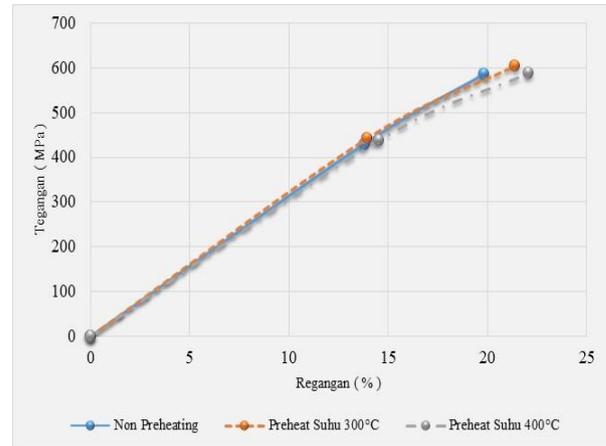
3. Perbandingan Tegangan Tarik dengan Regangan Tarik Material Baja ST 60

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk nilai Tegangan Tarik dan Regangan Tarik pada material Baja ST 60 dengan perlakuan variasi *preheating* pada pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) didapatkan hasil grafik sebagai berikut :

Tabel 8. Data hasil Tegangan – Regangan

Spesimen	Rata-Rata Tegangan Tarik (MPa)	Rata-Rata Regangan Tarik (%)	Rata-Rata Tegangan Luluh (MPa)	Rata-Rata Regangan Luluh (%)
Non Preheating	593,64	20,23	437,1	13,912

Preheat 300°C	591,981	21,235	457,57	14,906
Preheat 400°C	578,065	21,455	446,87	14,997



Gambar 9. Grafik Rata-rata Tegangan-Regangan

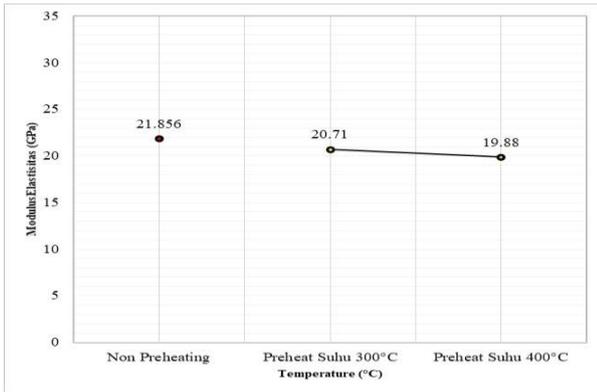
Dapat dilihat dari grafik ini terlihat jelas bahwa pada hasil nilai tegangan Tarik pada material baja ST 60 mengalami penurunan disetiap variasi suhu *preheating* sedangkan untuk nilai regangan Tarik mengalami kenaikan disetiap variasi suhu *preheating* sehingga dapat diketahui bahwa pada spesimen variasi *non preheating* memiliki nilai kekuatan yang lebih besar dari variasi *preheat* suhu 300°C dan *preheat* suhu 400°C serta untuk hasil grafik dari spesimen variasi *preheat* suhu 400°C memiliki nilai keuletan yang lebih baik dari variasi lainnya.

4. Modulus Elastisitas

Berdasarkan dari hasil pengujian, nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 dengan variasi *non preheating* adalah sebesar 25,72 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 21,856 GPa. Nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 dengan variasi *preheat* suhu 300°C sebesar 21,98 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 20,71 GPa. Sedangkan untuk nilai modulus elastisitas maksimum yang didapatkan dari material baja ST 60 dengan variasi *preheat* suhu 400°C sebesar 20,46 GPa dengan nilai rata-rata modulus elastisitas sebesar 19,88 GPa.

Tabel 9. Data hasil modulus elastisitas

Spesimen	σ_y (MPa)	Regangan (%)	E (MPa)	E (GPa)	E Rata-Rata (GPa)
Non Preheating	430,36	21,92	19633,21	19,63	21,856
	453,78	17,64	25724,48	25,72	
	404,13	19,98	20226,72	20,22	
Preheat 300°C	414,93	21,48	19317,03	19,31	20,71
	478,82	21,78	21984,38	21,98	
	435,34	20,88	20849,61	20,84	
Preheat 400°C	446,15	22,50	19828,88	19,82	19,88
	437,89	22,60	19375,66	19,37	
	431,88	21,10	20468,24	20,46	



Gambar 10. Grafik Rata-rata Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel, maka variasi *non preheating* memiliki sifat yang lebih kaku dibandingkan dengan variasi *preheat* suhu 300°C dan suhu 400°C.

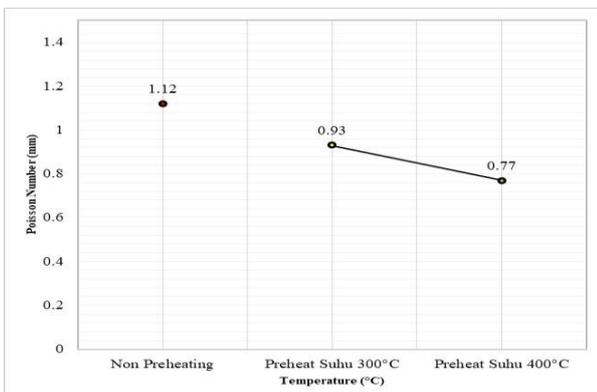
5. Poisson Number

Setiap pemanjangan Δl dari panjang semula l_0 akan menyebabkan penyusutan lebar $-\Delta b$. Menurut Poisson, persentase penyusutan lebar akan sebanding dengan persentase pemanjangannya. Maka didefinisikanlah apa yang dikenal dengan angka banding Poisson, berikut tetapannya :

$$\text{Poisson} = \frac{\text{Regangan Transversal}}{\text{Regangan Longitudinal}} = \frac{-\Delta b/b_0}{\Delta l/l_0} \quad (5)$$

Tabel 10. Data hasil pengujian regangan Tarik

Spesimen	b_0 (mm)	b' (mm)	Δb (mm)	l_0 (mm)	Δl (mm)	Poisson Number (mm)
Non Preheating	13,89	11	-0,20	50	10,96	0,94
	13,33	10	-0,24	50	8,82	1,41
	13,76	11	-0,20	50	9,99	1,0
Preheat 300°C	14,32	12	-0,16	50	10,74	0,75
	14,07	11	-0,21	50	10,89	1,0
	14,05	11	-0,21	50	10,44	1,0
Preheat 400°C	14,08	11	-0,21	50	11,25	0,97
	13,67	12	-0,12	50	11,30	0,54
	14,43	12	-0,16	50	10,55	0,79



Gambar 11. Grafik Rata-rata Poisson Number

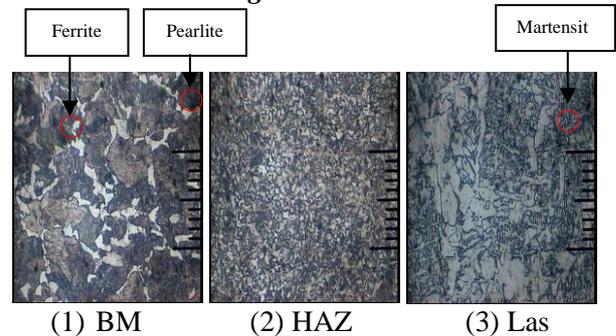
Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat, maka variasi *non preheating* memiliki angka poisson yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *preheat* suhu 300°C dan suhu 400°C.

5.5. Uji Mikrografi

Pengujian mikrografi pada penelitian ini bertujuan untuk melihat perbedaan bentuk struktur mikro pada sambungan las baja ST 60 setelah dilakukan proses variasi *preheating* sebelum pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) sehingga dapat dilihat perubahan struktur mikro pada baja tersebut.

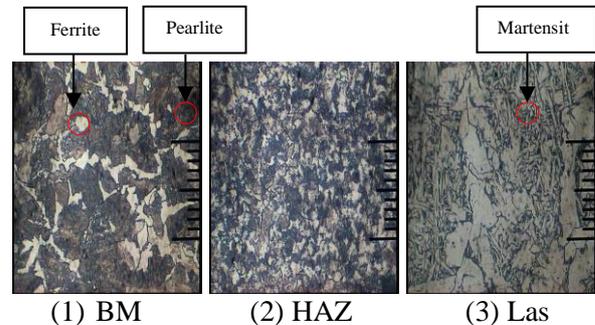
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut :

• Non Preheating :



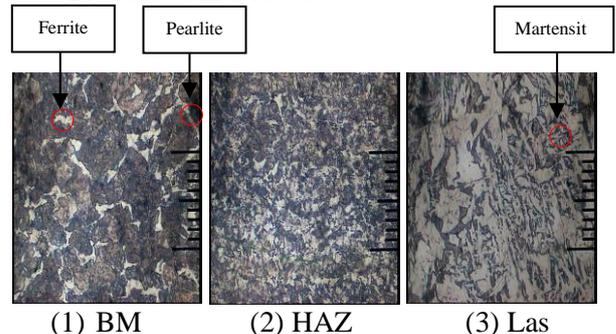
Gambar 11. Struktur Mikro Non Preheating

• Preheat Suhu 300°C :



Gambar 12. Struktur Mikro Preheat Suhu 300°C

• Preheat Suhu 400°C :



Gambar 13. Struktur Mikro Preheat Suhu 400°C

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa disetiap variasi *preheat* terlihat sebuah fasa yaitu fasa *ferrite* dan *pearlite*. Fasa *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.

Berdasarkan pengujian mikrofografi yang telah dilakukan, didapatkan hasil yang menyatakan bahwa variasi *non preheating* pada pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) terhadap baja ST 60 memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi, diikuti variasi *preheat* suhu 300°C serta *preheat* suhu 400°C. Hal tersebut terlihat dari kerapatan struktur mikro yang lebih baik. Semakin rapat struktur mikro suatu spesimen maka semakin keras spesimen tersebut. Kemudian pada variasi *preheat* suhu 400°C memiliki bentuk struktur yang lebih besar daripada variasi lainnya sehingga memberikan nilai regangan yang lebih baik dan memiliki sifat material yang lebih ulet dan baik.

5.6. Perbandingan Hasil Uji dengan Standar BKI

Berikut adalah perbandingan antara kekuatan tarik sesuai *Rules BKI volume V 2006 For Material Sec. 6* dengan hasil pengujian. Dalam hal ini BKI menetapkan aturan yang menyatakan bahwa material untuk material konstruksi pada kapal harus memiliki kekuatan Tarik (*Tensile Strength*) yaitu sebesar 400-800 N/mm².

Tabel 11. Hasil perbandingan kekuatan tarik baja ST 60 terhadap *Rules BKI*

Material	Kekuatan Tarik (MPa)	
	Standar BKI	Hasil Uji
Non Preheating	400 - 800	593,64
Preheat 300°C	400 - 800	591,98
Preheat 400°C	400 - 800	578,06

Berdasarkan perbandingan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian tarik pada baja ST 60 sesudah dilakukan variasi proses *preheating* telah memenuhi standar *Rules BKI volume V 2006 For Material*.

6. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan mengenai pengaruh variasi proses *preheating* pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro baja ST 60 menyatakan bahwa kekuatan rata-rata tegangan tarik terbesar terjadi pada spesimen *preheat* suhu 300°C yaitu 605,22 MPa. Rata-rata regangan tarik terbesar terjadi pada spesimen *preheat* suhu 400°C yaitu 22,06 %. Rata-

rata modulus elastisitas terkecil terjadi pada spesimen *preheat* suhu 400°C yaitu 19,88 Gpa.

Hasil pengelasan spesimen dengan variasi *non preheating* memiliki bentuk struktur mikro yang rapat dan memiliki sifat kekerasan yang cukup tinggi. Untuk spesimen *preheat* suhu 300°C memiliki struktur mikro yang cukup rapat, sifat keras dan terdapat fasa *pearlite* yang lebih banyak sedangkan pada *preheat* suhu 400°C memiliki bentuk struktur yang lebih lunak dan memiliki fasa *ferrite* lebih banyak sehingga memberikan nilai regangan Tarik yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Penelitian ini dengan baik. Penulis menyadari dalam penyusunan Penelitian ini dapat terselesaikan karena bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara formil maupun materil kepada penulis dalam penyusunan penelitian ini. Secara khusus, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Orang tua Penulis yang telah berjuang mengkuliahkan penulis dengan penuh kasih, Dosen Pembimbing 1 dan 2 yang telah memberikan bantuan secara materi, informasi dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini serta teman-teman S1 Teknik Perkapalan 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Huda M, 2018, *Pengelasan Plat Kapal dengan Variasi Jenis Elektroda dan Media Pendingin*, UNWAHAS, Semarang.
- [2] Wiryosumarto, H. & Okumura, Toshie, 1996, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] Hestiawan, H & Suryono, A. F, 2014, *Pengaruh Preheat dan Post Welding Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las SMAW Pada Baja Amutit K-460*, Jurnal Mekanikal, Universitas Bengkulu.
- [4] Dw, G, Ls & Gb, A, 2015, *Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Sifat Mekanik Material Sa 516 Grade 70*, Teknik Mesin. ITS.
- [5] Putra, Ridwan Redi, 2017, *Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 60 sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal setelah Proses Tempering*, Teknik Perkapalan. Universitas Diponegoro, Semarang.

- [6] MCOMBS, E. L. *Structural Welding Code-Steel. American Welding Society (AWS) D1*, 2002.
- [7] Yaqin, M. K. 2011. *Pengaruh Preheat dan Postheat Terhadap Lebar HAZ, Strukturmikro dan Distribusi Kekerasan Pada Proses Pengelasan SMAW Besi cor Kelabu FC 25*, Jurusan Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.
- [8] Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [9] Wiryosumarto. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [10] Vander Voort & Baldwin, W. 2004. *ASM Handbook Vol. 9 – Metallorgraphy and Microstructures*. ASM International.
- [11] Santoso, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan elektroda E7018*, Jurusan Teknik Mesin, UNNES, Semarang.
- [12] ASTM E8/E8M-09. 2004. *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials Metric*.