

ANALISA PENGELOMAN MILD STEEL (ST.42) DENGAN PROSES SMAW, FCAW DAN SAW DITINJAU DARI SEGI KEKUATAN DAN NILAI EKONOMIS

Eko Sasmito Hadi

Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

ABSTRACT

In this era, the growth of welding technology is very fast, especially in newship building and repairing ship construction. The welding work often rise the delaying which cause of lost of cost, time and material consumables. Developing of speed and efficient welding work have to choose the welding methode to be suitable with site condition.

This research will explain the differences of three welding methods consist of SMAW, FCAW and SAW weld methode based on strengthening and economic value. The strengthening of welding result are tested by dectructive test consist of tensile, bending and impact test. It carried out the calculation of weld cost per kgs, weld speed per meter and electrode consumption to know the differences of economic value for all that welding material.

The test result showed that no differences of tensile strength between SMAW, FCAW and SAW welding methode, max. 1 %, but SMAW weld methode have yield strength 4 % better than FCAW weld methode and 14 % better than SAW weld methode. FCAW weld methode ductility value 34 % mare than SMAW weld methode and 37 % more than SAW weld methode. FCAW weld methode have economic value 67 % more than SMAW weld methode and 42 % more than SAW weld methode. SAW weld methode on horizontal weld position have speed 63 % more faster than FCAW weld methode and 72 % more faster than SMAW weld methode. SAW weld methode have electrode consumption 6 % more efficient than FCAW weld methode and 50 % more efficient than SMAW weld methode.

Key word : SMAW, FCAW, SAW tensile strength, yield strength.

LATAR BELAKANG

Di era globalisasi ini kemajuan teknologi berkembang sangat pesat sehingga menyebabkan peningkatan intensitas persaingan dalam dunia usaha dan industri untuk menguasai pasar. Industri maritim merupakan salah satu industri strategis yang berkembang dengan banyak menyerap berbagai basis teknologi.

Dalam industri maritim termasuk didalamnya adalah industri perkapalan, bahan baku yang digunakan lebih dari 90% menggunakan plat baja, dengan konstruksi penyambungannya menggunakan metode pengelasan.

Penyambungan dua logam baja pada industri perkapalan dengan menggunakan cara pengelasan memberikan beberapa keuntungan antara lain :

- Cara yang paling murah dibanding dengan cara yang lain

- Memberikan berat benda yang lebih ringan bila dibandingkan dengan cara klem atau mur baut
- Dapat dipakai untuk menyambung sebagian besar logam komersiil
- Dapat dipakai di segala tempat dan pada posisi manapun, mudah untuk mendesain sambungan dan sangat fleksibel
- Memberikan kekuatan yang relatif sama dengan logam asli.

Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik, karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi dan keadaan di sekitarnya serta efisiensinya.

Prosedur pengelasan sepertinya sangat sederhana, tetapi fakta didalamnya banyak masalah yang harus diatasi, yang pemecahannya memerlukan bermacam-macam

bidang pengetahuan. Karena itu dalam pengelasan pengetahuan teknologi harus turut serta mendampingi aplikasi di lapangan. Secara terperinci dapat dikatakan bahwa dalam perancangan konstruksi dengan menggunakan metode sambungan las, harus direncanakan pula metode pengelasan, bahan dasar dan jenis elektroda yang akan dipergunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian konstruksi yang dirancang.

Pemilihan metode proses pengelasan yang tepat diharapkan industri maritime khususnya perkapalan dapat memproduksi lebih cepat dan efisien sehingga mampu bersaing di pasar global.

Perkembangan teknologi pengelasan awalnya dilandaskan pada tantangan aplikasi, pemikiran pengelasan yang didasarkan pada prinsip-prinsip teknis saja. Saat ini telah lebih ditujukan pada produktifitas dan efisiensi, yaitu penggunaan sumber daya sekecil mungkin, kecepatan proses setinggi mungkin dan penurunan kegagalan akibat faktor operator sehingga meningkatkan profit perusahaan.

Beberapa metode proses pengelasan yang telah dikenal adalah :

- Proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- Proses FCAW (*Flux Core Arc Welding*)
- Proses SAW (*Submerged Arc Welding*)

Dari ketiga jenis proses pengelasan tersebut masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri baik dari segi kekuatan maupun nilai ekonomisnya.

Dalam penelitian ini penulis melakukan analisa perbedaan hasil sambungan las pada baja karbon rendah jenis St 42 dengan menggunakan metode proses pengelasan SMAW, FCAW dan SAW ditinjau dari segi kekuatan dan nilai ekonomisnya. Dengan melakukan pengujian mekanis / *destructive test* yaitu uji tarik, uji tekuk dan uji tumbuk serta penghitungan efisiensi waktu pengelasan dan banyaknya elektroda yang terdepositkan per meternya.

Penelitian ini juga dimaksudkan untuk mencari kondisi hasil sambungan las paduan baja karbon rendah St 42 yang optimal secara mekanis dengan menentukan jenis proses las yang digunakan.

PERUMUSAN MASALAH

Pekerjaan pengelasan terutama di proyek pembangunan kapal baru sering terjadi penggunaan metode pengelasan yang kurang tepat sehingga mengakibatkan keterlambatan penyerahan kepada pemilik kapal dan kerugian biaya / *cost*, waktu maupun material, Oleh sebab itu perlu adanya penelitian perbedaan pengelasan dengan beberapa metode pengelasan yang dapat meningkatkan kecepatan proses produksi dengan menekan biaya produksi serta dapat mengurangi *reworks* yang diakibatkan karena kesalahan dalam pengelasan

BATASAN MASALAH

Batasan pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Pengelasan terhadap plat kapal (*mild steel st 42*) grade A sertifikat BV
2. Proses SMAW kawat las yang digunakan AWS A5.1 E6013 dia 3,2 mm dan dia 4 mm.
3. Proses FCAW kawat las yang digunakan AWS A5.20 E 71T – 1 dia 1,2 mm dengan pelindung gas CO₂.
4. Proses SAW digunakan kawat las AWS A5 – 17 EM 12K dia 4 mm dengan pelindung Flux.
5. Posisi pengelasan dilakukan secara datar (1G) pada sambungan *butt joint*
6. Menghitung kekuatan hasil pengelasan dengan pengujian merusak (*destructive test*) yang meliputi : uji tarik, bending dan impact.
7. Menghitung nilai ekonomis dari ketiga metode pengelasan tersebut yang meliputi : kecepatan pengelasan, besarnya konsumsi elektroda dan biaya pengelasan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perbedaan nilai kekuatan tarik, bending dan impact pada sambungan las pada masing – masing metoda pengelasan
2. Mengetahui perbandingan nilai ekonomis dari masing – masing metode pengelasan

Bahan Spesimen Uji

Pada pengujian ini specimen uji yang digunakan adalah baja carbon rendah jenis ST 42 dengan ketebalan 10 mm yang telah disetujui penggunaannya oleh *Bureau Veritas* (lihat lampiran) dengan data sebagai berikut :

a) *Mecanical properties*

TS N/mm ²	YS N/mm ²	E %
462	327	27

b) *Chemical Composition*

C	Si	Mn	P	S
0,14	0,27	0,65	0,026	0,006

Elektroda untuk uji

Sedangkan kawat las yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik material dasar yang akan dilas dan metode proses pengelasan yang digunakan yaitu proses las SMAW, FCAW dan SAW dengan data sbb :

1. Elektroda untuk proses SMAW

Elektroda untuk proses SMAW yaitu ESAB, E 6013 dia 3,2 mm dan 4 mm, AWS. A5.1 (lihat lampiran) dengan data sebagai berikut :

a) *Mecanical properties*

TS (MPa) N/mm ²	YS (MPa) N/mm ²	E %
510	400	28

b) *Chemical Composition*

C	Si	Mn
0,08	0,30	0,4

2. Elektroda untuk proses las FCAW

Elektroda untuk proses las FCAW yaitu KISWEL AWS A5.20 E71T-1 dia 1,2 mm dengan pelindung gas CO₂ dengan data sebagai berikut :

a) *Mecanical properties*

TS N/mm ²	YS N/mm ²	E %
580	520	29

c) *Chemical composition*

C	Si	Mn	P	S
0,04	0,45	1,30	0,015	0,012

3. Elektroda untuk proses las SAW

Yaitu ESAB OK 12.22 AWS A5-17 EM 12K dia 4 mm dengan pelindung Flux ESAB OK 10.71 dengan data elektroda sebagai berikut :

a) *Mecanical properties*

TS N/mm ²	YS N/mm ²	E %
520	425	29

b) *Chemical composition*

C	Si	Mn
0,1	0,2	1,0

Pengelasan

Persiapan dan pelaksanaan pengelasan dilakukan dibengkel tertutup galangan kapal PT. Jasa Marina Indah Semarang dengan metode pengelasan SMAW, FCAW dan SAW. Dalam pengelasan ini menggunakan metode dan prosedur pengelasan yang sudah ada dan digunakan oleh pihak galangan dengan personal / operator las galangan dengan sertifikat BV. Prosedur pengelasan dan sertifikat juru las dapat dilihat pada lampiran

Visual Test

Pemeriksaan visual mencakup pemeriksaan sambungan las terhadap kemulusan pengerjaan dan keseluruhan dimensi. Lasan diperiksa untuk meyakinkan bahwa lokasi dan ukuran sesuai dengan yang dispesifikasikan pada gambar kerja. Pemeriksaan mudah dilakukan, cepat dan murah dengan menggunakan peralatan kaca pembesar, jangka sorong, mistar, micrometer, meteran. Pemeriksaan visual dilakukan sebelum pengelasan, pada waktu pengelasan dan setelah pengelasan.

Pemeriksaan sebelum pengelasan

Pemeriksaan dimulai dengan pemeriksaan bahan sebelum dilakukan pengelasan. Pemeriksaan tersebut meliputi adalah :

- Persiapan pinggiran yang akan dilas (sudut bevel / sudut kampuh, celah akar / gap, tinggi leher), dimensi dan penyetalannya.
- Ukuran *backing strip*, *backing ring*, *backing weld*, *fore plat* (jika diperlukan)
- Aligment dan penyetulan (*fit up*) dari bagian – bagian yang akan dilas
- Pembersihan (tidak boleh ada kotoran seperti lemak, cat, minyak, dan lainnya)

Pemeriksaan pada waktu pengelasan

Pemeriksaan visual pada waktu pengelasan yaitu memeriksa rincian pekerjaan pada waktu berlangsungnya pengelasan yang meliputi :

- Proses las (mesin las, parameter pengelasan)
- Logam pengisi (*filler metal*)
- Gas pelindung (*gas shielding*)
- Suhu pemanasan awal (*preheating*) dan suhu antar alur las (*interpass*)
- Pembersihan
- Penggerindaan atau gouging

Pemeriksaan setelah pengelasan

Pemeriksaan setelah pengelasan bertujuan untuk memverifikasi hasil las yang telah selesai yang meliputi :

- Tampak sambungan las
- Discountinuitas structural*
- Tanda – tanda karena kesalahan penanganan
- Deformasi yang terjadi. Jenis deformasi ini dibagi menjadi dua yaitu al :

- Penyusutan terhadap specimen.
Besarnya penyusutan yang terjadi dipengaruhi oleh tebal plat, kecepatan pengelasan dan besarnya arus. Penyusutan kearah memanjang sangat kecil bila dibandingkan terhadap penyusutan arah melintang. Hal ini dikarenakan adanya perlawanan dari logam induk
- Perubahan sudut
Perubahan sudut terjadi karena adanya perbedaan temperature antara permukaan yang dilas dan permukaan sebaliknya.

Setelah dilakukan penyambungan plat ST 42 dengan metode pengelasan SMAW, FCAW dan SAW dan selesai proses penyambungannya kemudian masing – masing plat dilakukan pembentukan benda uji yang terdiri dari benda uji tarik, bending dan impact dengan standart JIS. Pembentukan bahan uji dan pengujian dilakukan di laboratorium fakultas teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta

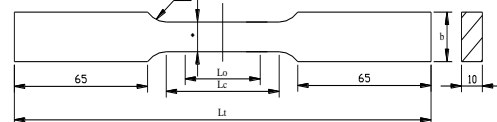
Pengujian Bahan

Bahan sampel hasil pengelasan SMAW, FCAW dan SAW yang telah dilas dan dibentuk specimen sesuai standart kemudian dilakukan pengujian yang meliputi :

1. Pengujian Tarik (*tensile test*)

Semua plat hasil pengelasan dengan proses SMAW, FCAW dan SAW dibuat sampel uji tarik masing – masing 3 (tiga) buah, ukuran sampel mengikuti standart JIS 2201 dan disesuaikan dengan mesin tarik yang akan digunakan.

Ukuran specimen uji tarik berdasarkan JIS 2201



Gambar 1. Bentuk specimen uji tarik

Keterangan

Ukuran	<i>Specimen proportional test</i>
w	12,5 mm
Lo	50,0 mm
Lc	57,0 mm
r	12,5 mm
b	20,0 mm
Lt	200,0 mm
t	10,0 mm

- b = *Width of grip section*
- t = *Thickness plate*
- Lo = *Initial gauge length*
- W = *Width*
- Lc = *Test length*
- Lt = *Overall length*
- r = *radius of fillet*

a. Rumus yang digunakan dalam uji tarik

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang dan akibatnya batang tersebut cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang, maka gaya tersebut dinamakan gaya tarik, dan gaya tersebut menghasilkan tegangan tarik dalam (internal) aksial pada batang disuatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbu.

Rumus tegangan tarik adalah

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ N/mm}^2$$

Keterangan :

- σ = Tegangan tarik (N / mm^2)
- P = Gaya max. (N / mm^2)
- A = Luas penampang mula-mula (mm^2)

b. Perubahan bentuk aksial (regangan)

Besar regangan adalah perbandingan antara selisih panjang sesudah putus dan panjang mula-mula dengan panjang mula-mula.

Rumus besar regangan adalah :

$$\varepsilon = \left[\frac{Lu - Lo}{Lo} \right] \times 100 \%$$

ε = Regangan (%)

Lo = Panjang mula-mula (mm)

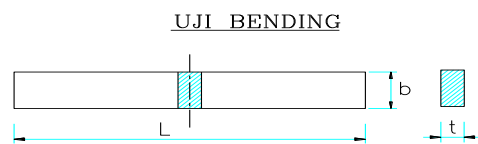
Lu = Panjang sesudah putus (mm)

2. Pengujian Tekuk (*bending test*)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sifat kelenturan dan kegetasan dari bahan serta mengetahui mampu deformasi dengan radius bengkok tertentu..

Sedangkan metode pengujian yang dipakai adalah *Triple Point* yaitu benda uji ditumpu dengan satu tumpuan dibagian atas benda uji dan dua tumpuan dibagian bawah benda uji.

Plat hasil pengelasan dengan proses SMAW, FCAW dan SAW dibuat 3 (tiga) buah specimen uji tekuk dengan standart JIS 2204.



Gambar 2. Bentuk specimen uji Tekuk

Ukuran sampel uji adalah sebagai berikut :

Pan jang = 150 mm

Tebal = 20 mm

Lebar = 10 mm

Dari hasil pengujian tekuk didapatkan data gaya tekan maximum (P_{max}). Dari data tersebut dapat dihitung tegangan lentur maximumnya (σ_{lentur}) dengan rumus sbb :

$$\sigma_{lentur} = \frac{P_{max} \times Ls}{4 W} \text{ N / mm}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \text{ mm}^3$$

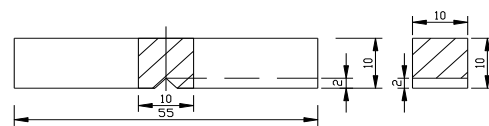
Dimana Ls : Jarak antar dua tumpuan
 W : Moment inertia
 b : lebar specimen
 t : tebal spesimen

2. Pengujian Tumbuk (*impact test*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui energi tumbukan atau tegangan keuletan yang dapat ditahan material tersebut pada posisi daerah lasan (*welding metal*). Dari hasil pengujian didapatkan data besarnya tenaga patah dalam Joule./mm². Dari data tersebut dapat dihitung tegangan maximum (σ_{max}) yang dapat ditahan oleh material tersebut dengan membagi gaya max (P_{max}) dengan luas penampang sample (A).

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \text{ Joule/mm}^2$$

Pelat hasil pengelasan SMAW, FCAW dan SAW dibuat sampel uji impact masing – masing 3 (tiga) buah dengan standar JIS 2202.



Gb.3. Bentuk specimen uji tumbuk

4. Perhitungan nilai ekonomis

Didalam pembangunan kapal pada umumnya biaya produksi dipengaruhi oleh biaya material, biaya tenaga kerja, biaya overhead. Dari beberapa faktor tersebut diatas penulis hanya menganalisa faktor biaya yang berkaitan dengan pengelasan. Dalam hal ini disebabkan karena dalam pembangunan kapal diasumsikan bahwa penyambungan pelat baja menggunakan teknik pengelasan, hanya metode pengelasannya yang berbeda.

Secara umum diketahui data – data teknik dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut :

- *Operator factor* adalah kerja sesungguhnya dari seorang welder untuk mendepositkan lasan kesambungan. Artinya kerja dihitung hanya ketika api las menyala.
- *Effisiensi Consumables* adalah kilogram logam las yang dihasilkan dari kilogram

- elektroda yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih besar.
- *Deposition Rate* adalah jumlah lasan yang dihasilkan oleh welder dalam satuan waktu. *Deposition rate* berimplikasi langsung pada kecepatan pengelasan.
- *Groove Angle* (*Joint*) adalah besarnya sudut sambungan yang harus dipersiapkan. Pengecilan sudut memperkecil pula jumlah lasan untuk ketebalan plat tertentu.

Tabel 1. Perhitungan efisiensi

	SMAW	FCAW	SAW
(OF)	5 – 30 %	10 – 60 %	80 – 90%
(EC)	50 – 65 %	85 – 90 %	85 – 90%
(DR)	1- 1,5 kg/jam	2 – 5,2 kg/jam	6–15 kg/jam
(Joint)	60 ⁰	60 ⁰	60 ⁰

Keterangan :

OF = *Operator Factor*

EC = *Efficiency Consumables*

DR = *Deposition Rate*

Sedangkan fungsi – fungsi ekonomis yang harus diperhatikan dari pengelasan adalah sebagai berikut :

- *Labor cost* adalah biaya / upah yang dibayarkan selama jam kerja resmi yaitu selama 8 jam.
- *Overhead cost* adalah biaya yang timbul diluar biaya upah dan material yang terdiri dari komponen – komponen : biaya listrik, biaya sewa alat, biaya pengujian dan lainnya.
- *Weld metal cost* adalah biaya penggunaan banyak elektroda las yang digunakan.
- *Gas cost* adalah biaya penggunaan gas CO₂ yang digunakan selama proses pengelasan.
- *Flux cost* adalah biaya penggunaan flux yang digunakan selama proses pengelasan

5. Perhitungan *Direct Cost* dan *Indirect Cost*

Perhitungan nilai *direct cost* dan *indirect cost* menggunakan formula sbb :

a. *Direct Cost* terdiri dari :

- *Labor & Overhead Cost* (Rp. / kg) = *Labor & OH / Dep. Rate x Op. Fac*
- *Weld Metal Cost* (Rp./kg las) = *Electrode price / Efficiency.*
- *Gas Cost* (Rp. / kg. las) = Jumlah harga gas CO₂ per kg las.

$$- \text{Flux Cost (Rp./ kg. las)} = \frac{\text{Jumlah harga flux per kg las}}{\text{Efficiency}}$$

b. *Indirect Cost* terdiri dari :

- *Weld Metal Required* (kg consumables / meter joint) = $\frac{\text{Weld per joint}}{\text{Efficiency}}$
- *Working speed* (m/jam) = $\frac{\text{Deposition rate}}{\text{Weld per joint}}$

6. Perbandingan Nilai Ekonomis

Fungsi – fungsi ekonomis yang harus diperhitungkan dalam menilai suatu proses pengelasan lebih efisien dibandingkan dengan proses pengelasan yang lain adalah dengan menghitung nilai – nilai fungsi *direct cost* yang terdiri dari *labor & overhead, weld metal cost, gas cost* serta *indirect cost* yang terdiri dari : *Working Speed & Jumlah lasan* yang dibutuhkan untuk pelat yang sama

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Data dalam bab ini diambil berdasarkan hasil pengujian yang kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis dari metode atau proses pengelasan meliputi data dari pengujian tarik, pengujian tekuk, pengujian tumbuk dan perhitungan nilai keekonomian.

Data Hasil Pengujian

Dalam pengambilan data dari tiga macam pengujian tersebut digunakan tiga kali percobaan yang kesemuanya divariasi dengan metode pengelasan yang berbeda

1. Data Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Pada data hasil pengujian tarik diambil dari sample hasil pengujian yang hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besarnya harga gaya maksimal pada saat putus (P_{max}) dan pertambahan panjang material saat putus (ΔL).

Dari hasil pengujian tarik yang dilakukan dengan variasi metode pengelasan didapatkan harga tegangan maksimum (σ_{max}), tegangan putus (σ_{putus}), dan *elongation* (ϵ). Dari tiap variable percobaan terdapat tiga sample spesimen.

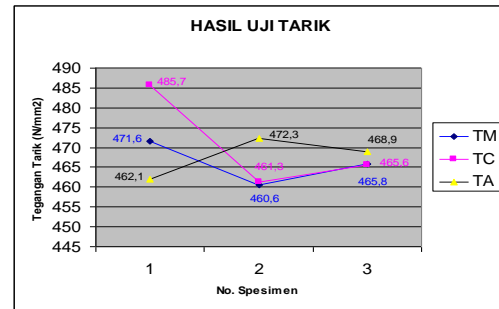
Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan data yang didapat pada saat pengujian tarik yang dikelompokkan berdasar metode pengelasan.

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik dan perhitungannya

No	A mm ²	P _{max} N	σ _{max} N/mm ²	ε %	Lksi Pts
TM1	114	53.800	471,6	14,9	BM
TM2	116	53.400	460,6	16,32	BM
TM3	116	54.000	465,8	19,3	BM
Rata - rata			466		
TC1	112	54200	485,7	12,26	BM
TC2	115	53200	461,3	14,83	BM
TC3	115	53400	465,6	14,83	BM
Rata - rata			470,87		
TA1	115	53.000	462,1	12,5	BM
TA2	112	53.000	472,3	16,25	BM
TA3	113	53.200	468,9	15,85	BM
Rata - rata			467,77		

Keterangan :

- TM1 = Spesimen tarik no : 1 untuk proses las SMAW
 TM2 = Spesimen tarik no : 2 untuk proses las SMAW
 TM3 = Spesimen tarik no : 3 untuk proses las SMAW
 TC1 = Spesimen tarik no : 1 untuk proses las FCAW
 TC2 = Spesimen tarik no : 2 untuk proses las FCAW
 TC3 = Spesimen tarik no : 3 untuk proses las FCAW
 TA1 = Spesimen tarik no : 1 untuk proses las SAW
 TA2 = Spesimen tarik no : 2 untuk proses las SAW
 TA3 = Spesimen tarik no : 3 untuk proses las SAW
 t₀ = Tebal specimen
 b₀ = Lebar specimen
 l₀ = Panjang specimen mula-mula
 l₁ = Panjang specimen setelah uji tarik
 Δl = Pertambahan panjang
 ε = Elongation
 P_{max} = Besar gaya pengujian
 σ_{max} = Tegangan tarik maximum
 σ_{putus} = Tegangan putus
 BM = Base Metal
 WM = Weld Metal



Gambar 4. Grafik Hasil uji tarik

Berdasarkan data tersebut diatas hasil lasan dengan proses SMAW, FCAW dan SAW putusnya spesimen pada daerah *Base Metal* / metal dasar yang menunjukkan bahwa kekuatan hasil lasan ketiga proses las tersebut memenuhi standart syarat keterterimaan dan dari hasil tegangan tarik max dari ketiga spesimen hasil proses las SMAW, FCAW dan SAW menunjukkan hampir sama karena tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, perbedaan tersebut berkisar max 1% .

2. Data Hasil Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Pada data hasil pengujian tarik diambil dari sample hasil pengujian yang hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besarnya harga gaya beban max saat menekuk.. Dan dari pengujian tekuk tersebut didapatkan harga gaya beban (P_{beban}) dan tegangan lentur max (σ_{max}). Dari tiap variable pengujian terdapat tiga sample specimen.

Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan data yang didapat pada saat pengujian tekuk yang dikelompokkan berdasarkan metode pengelasan.

Tabel 3.. Data hasil pengujian tekuk dan perhitungannya

No	W mm ³	Ls mm	P N	σ _{lentur} N/mm ²
BM1	602	120	10.200	508,69
BM2	608	120	10.400	513,44
BM3	602	120	10.000	498,46
Rata - rata				511
BC1	569	120	9.800	516,52
BC2	595	120	9.200	463,52
BC3	598	120	9.600	481,36
Rata - rata				490
BA1	776	120	10.000	386,47
BA2	608	120	10.000	493,41
BA3	611	120	9,800	481,56
Rata - rata				440

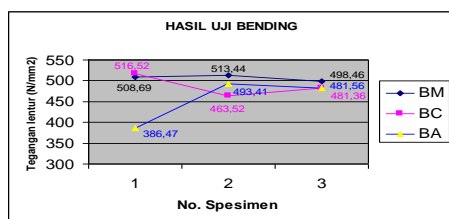
Keterangan :

- t₀ = Tebal spesimen
 b₀ = Lebar spesimen

- W = Luas penampang specimen
 L_s = Jarak antara dua penumpu
 P_{max} = Gaya beban max. saat menekuk specimen
 σ_{max} = Tegangan lentur max
 BM1 = Spesimen bending no : 1 untuk proses las SMAW
 BM2 = Spesimen bending no : 2 untuk proses las SMAW
 BM3 = Spesimen bending no : 3 untuk proses las SMAW

 BC1 = Spesimen bending no : 1 untuk proses las FCAW
 BC2 = Spesimen bending no : 2 untuk proses las FCAW
 BC3 = Spesimen bending no : 3 untuk proses las FCAW
 BA1 = Spesimen bending no : 1 untuk proses las SAW
 BA2 = Spesimen bending no : 3 untuk proses las SAW

Berdasarkan data hasil uji bending menunjukkan bahwa setelah dibending pada hasil lasan tidak adanya keretakan pada hasil lasan, baik pada proses las SMAW, FCAW maupun SAW. Hasil tersebut memenuhi standart keterterimaan hasil las. Tegangan lentur yang diperlukan untuk menekuk specimen hasil lasan metode pengelasan SMAW lebih besar 4% dibanding dengan metode FCAW dan lebih besar 14 % dibanding dengan metode pengelasan SAW.



Gambar 5. Grafik Hasil uji bending

3. Data Hasil Pengujian Tumbuk (Impact Test)

Pada data hasil pengujian tumbuk diambil dari sampel hasil pengujian yang hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besarnya gaya patah pada saat beban pukul mematahkan specimen.

Dari hasil pengujian tumbuk yang dilakukan dengan variasi metode pengelasan didapatkan nilai keuletan.

Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan data yang didapat saat pengujian tumbuk yang dikelompokkan berdasar metode pengelasan.

Tabel 4 Data hasil pengujian tumbuk dan perhitungannya

No	A mm ²	P patah Joule	Nilai Ulet Joule/mm ²
IM1	90,09	129	1,431
IM2	92	63	0,684
IM3	93	61	0,655
Rata - rata			0,9233
IC1	90,78	149,5	1,646
IC2	92,7	147,2	1,588
IC3	87,71	82	0,934
Rata - rata			1,389
IA1	94	70	0,744
IA2	90	10,8	1,2
IA3	95,5	6,5	0,68
Rata - rata			0,874

Keterangan :

Beban pukul = 8,5 Kg / 150 Joule

Radius beban pukul = 83 cm

t_0 = tebal specimen

b_0 = lebar specimen

A = Luas penampang specimen

P = Gaya saat patahkan specimen

IM1= Spesimen Impact no : 1 untuk proses las SMAW

IM2= Spesimen Impact no : 2 untuk proses las SMAW

IM3= Spesimen Impact no : 3 untuk proses las SMAW

IC1= Spesimen Impact no : 1 untuk proses las FCAW

IC2= Spesimen Impact no : 2 untuk proses las FCAW

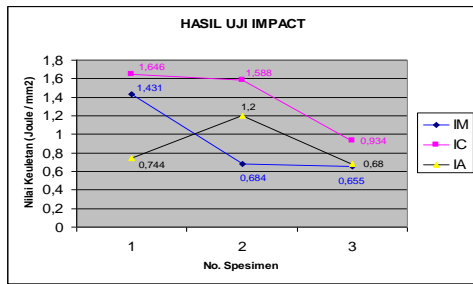
IC3= Spesimen Impact no : 3 untuk proses las FCAW

IA1= Spesimen Impact no : 1 untuk proses las SAW

IA2= Spesimen Impact no : 2 untuk proses las SAW

IA3= Spesimen Impact no : 3 untuk proses las SAW

Berdasarkan data tersebut diatas harga keuletan hasil lasan dengan proses FCAW lebih ulet sebesar 34 % dibandingkan dengan proses SMAW dan lebih ulet sebesar 37% dibandingkan dengan proses SAW



Gambar 6. Grafik Harga keuletan hasil lasan

4. Analisa Perbandingan Harga Ekonomis

Analisa ini dibuat berdasarkan data yang didapatkan dari sumber – sumber langsung dan data aplikasi di lapangan di galangan kapal PT. Jasa Marina Indah. Komponen – komponen tersebut adalah :

a. **Biaya upah pekerja las (labor Cost)** = Rp. 45.000,-/hari = Rp.5.625,-/ jam

b. **Biaya Overhead :**

- **Sewa alat perlengkapan las** (mesin las, selang dan handle las) = Rp. 40.000,- / hari = Rp. 5.000,- / jam

- **Pengujian (NDT dan DT)**

- = Rp. 250.000,- / unit
- = Rp. 31.250,- / jam

- **Konsumsi listrik :**

Proses SMAW =

- 25 V x 150 A x 1 jam x Rp. 439,- /kwh = Rp. 1.646,25 / kwh

Proses FCAW =

- 30 V x 250 A x 1 jam x Rp. 439,- / kwh = Rp. 3.292,5,- / kwh

Proses SAW =

- 30 V x 500 A x 1 jam x Rp. 439,- / kwh = Rp. 6.585,- / kwh

c. **Harga Elektroda Las / Kg :**

- Elektroda SMAW merk ESAB E 6013
- Elektroda FCAW merk KISWEL E 71T-1 = Rp. 21.000,- / kg
- Elektroda SAW merk ESAB OK 12.22 = Rp. 23.000,- / kg

d. **Biaya penggunaan Gas CO₂ / kg las**

- Harga Gas CO₂
- Pemakaian Gas CO₂ per kg las
- Biaya Gas CO₂ per kg las

e. **Biaya penggunaan Flux OK 10.18**

- Harga Flux OK 10.18 = Rp. 16.500,-/kg

- Pemakaian flux per kg las
 - Biaya kebutuhan flux per kg las
 f. **Kebutuhan Kg electrode / meter joint (weld metal required)**

- Metode SMAW :
 Kecepatan pengelasan = 7,2 m / jam
 (ref. WPS PT. JMI - Smg)
 Pemakaian elektroda = 1,6 kg / jam
 (ref. ESAB hal. 10 seventh edition)

Jadi kebutuhan elektroda

$$= \frac{1,6 \text{ kg / jam}}{7,2 \text{ m / jam}} = 0,222 \text{ kg / m}$$

- Metode FCAW = 0,57 kg / m
 (ref. ESAB hal 139 fifth edition) .

- Metode SAW = 0,61 kg / m
 (ref. ESAB hal 23 Quick reference)

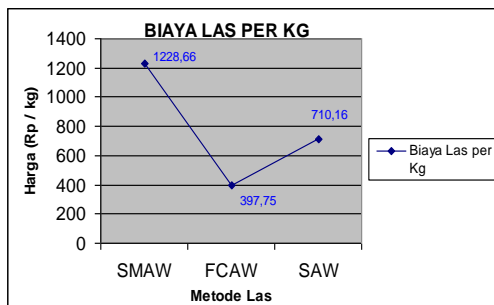
Dari data tersebut diatas didapatkan biaya overhead untuk setiap proses las / jam, yaitu sebagai berikut :

- a. Proses SMAW = Rp. 5.625,- + Rp. 5.000,- + Rp.31.250,- + Rp. 1.646,25 = Rp. 43.521,25 ,-
- b. Proses FCAW = Rp.5.625,- + Rp. 5.000,- + Rp. 31.250,- + Rp. 3.292,5,- = Rp. 45.167,5 ,-
- c. Proses SAW = Rp. 6.585,- + Rp. 5.000,- + Rp. 31.250,- + Rp. 6.585,- = Rp. 48.460,-

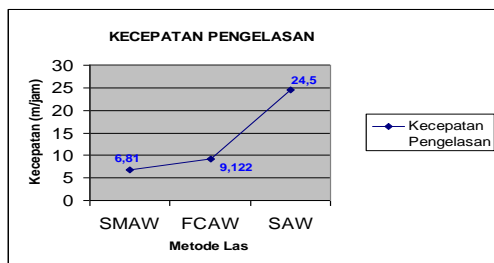
Tabel 5. Data Perbandingan Biaya Masing – Masing Proses las

	Jenis Biaya	Proses Las		
		SMAW (Rp/kg las)	FCAW (Rp/kg las)	SAW (Rp/kg las)
1	Direct Cost :	5.060	0,28	0,28
	a. Labor & Oper. Cost	Rp. 1.500,- x Dep. Rate x Oper. Factor		
		967.13	144.76	38,01
	b. Weld Metal Cost	Electrode Price / Efficiency		
		261,53	233,33	255,5

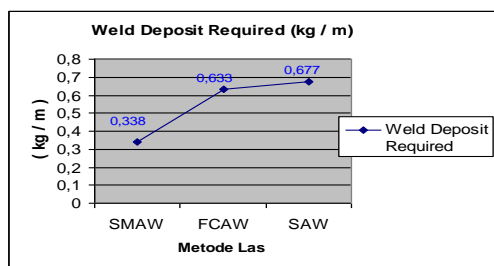
				5
	c. Gas Cost	Gas price / Efficiency		
				16,66
	d. Flux Cost	Flux price / Efficiency		
				416,6
	Total Biaya	1.28,66	397,75	710,16
2	Indirect Cost :			
	a. Weld Metal Required (kg. consum/m.joint)	Weld per Joint / Efficiency		
		0,338	0,633	0,677
	b. Working Speed (m/jam)	Deposition Rate / Weld per Joint		
		6,81	9,122	24,5



Gambar 7. Grafik Perbandingan biaya las per kg



Gambar 8. Grafik Perbandingan Kecepatan Pengelasan



Gambar 9. Grafik Perbandingan Konsumsi Elektrode per Meter Joint

Berdasarkan data tersebut diatas secara ekonomis pengelasan dengan proses FCAW lebih murah atau kecil biaya per kg lasnya

dibandingkan dengan proses SMAW yaitu 67 % dan dibandingkan dengan proses SAW lebih kecil sebesar 42 %. Tetapi untuk kecepatan proses SAW lebih cepat 63 % dibandingkan dengan metode FCAW dan lebih cepat 72 % dibandingkan dengan metode SMAW. Sedangkan kebutuhan elektroda per meter joint pengelasan dengan metode SAW lebih ekonomis sebesar 6 % disbanding dengan metode FCAW dan lebih ekonomis 50 % dibanding dengan pengelasan metode SAW.

KESIMPULAN

Dari data – data yang didapatkan dalam penelitian dan analisa disimpulkan bahwa

1. Perbedaan kekuatan mekanis yaitu :

- a. Tegangan tarik rata-rata baik metode SMAW, metode FCAW maupun metode SAW tidak ada perbedaan yang signifikan dan hanya berkisar 1 %. Kekuatan tarik metode SMAW lebih baik 1 % dibanding metode SMAW dan lebih baik 0,6 % dibanding dengan metode SAW.

Kekuatan tarik metode SMAW sebesar 466 N/mm^2 , metode FCAW sebesar $470,87 \text{ N/mm}^2$, dan metode SAW sebesar $467,77 \text{ N/mm}^2$.

- b. Untuk perbedaan tegangan lentur rata-rata hasil pengelasan ketiga metode tersebut berkisar antara 4 % - 14 %. Tegangan lentur metode SMAW lebih besar 4 % dibanding metode FCAW dan lebih besar 14% dibanding dengan metode SAW. Tegangan lentur rata-rata metode SMAW sebesar 511 N/mm^2 , metode FCAW sebesar 490 N/mm^2 dan metode SAW sebesar 440 N/mm^2 .

Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengelasan dengan metode SMAW mempunyai tegangan lentur lebih baik

- b. Sedangkan untuk perbedaan nilai keuletan rata-rata hasil pengelasan ketiga metode pengelasan tersebut berkisar antara 34 % - 37 %. Keuletan hasil pengelasan FCAW lebih baik 34 % dibanding metode SMAW dan lebih baik 37 % dibanding dengan metode SAW.

Nilai keuletan pengelasan dengan metode FCAW sebesar $1,389 \text{ Joule/mm}^2$, metode SMAW $0,9233 \text{ Joule/mm}^2$ dan metode SAW sebesar $0,874 \text{ Joule/mm}^2$. Metode FCAW

mempunyai nilai keuletan lebih baik, hal ini dimungkinkan oleh adanya *heat input* pada saat proses las FCAW lebih stabil

2. Perbedaan nilai ekonomis, yaitu :
 - a. Perbedaan biaya pengelasan menggunakan ketiga metode pengelasan tersebut berkisar antara 42 % - 67 %. Biaya pengelasan dengan metode FCAW lebih murah 42 % dibanding dengan metode SAW dan lebih murah 67 % dibanding dengan metode SMAW.

Biaya pengelasan dengan metode FCAW sebesar Rp. 397,75,-/ kg, sedangkan dengan metode SAW sebesar Rp. 710,16,-/ kg dan untuk pengelasan dengan metode SMAW sebesar Rp. 1228,66,- / kg. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode FCAW lebih ekonomis.
 - b. Untuk perbedaan kecepatan pengelasan ketiga metode tersebut, berkisar antara 63 % - 72 %. Kecepatan pengelasan dengan metode SAW lebih cepat 63 % dibanding dengan metode FCAW dan lebih cepat 72 % dibanding dengan metode SMAW. Kecepatan metode SAW sebesar 24,5 m/jam, untuk metode FCAW sebesar 9,122 m/jam dan metode SMAW sebesar 6,81 m/jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa untuk pencapaian target produksi pengelasan dengan metode SAW lebih cepat dibanding dengan metode FCAW maupun dengan metode SMAW.
 - c. Sedangkan untuk perbedaan efisiensi pemakaian elektroda per meter joint, (*weld metal deposit required*) ketiga metode pengelasan tersebut berkisar antara 6 % - 50 %. Pengelasan dengan metode SAW lebih efisien 6 % dibanding dengan metode FCAW dan lebih efisien 50 % dibanding dengan metode SMAW. Jumlah elektroda yang didepositkan per meter joint dengan metode SAW adalah 0,677 kg/m joint, metode FCAW 0,633 kg/m joint dan metode SMAW 0,338 kg/m joint. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode

SAW lebih ekonomis dibanding dengan metode FCAW dan metode SMAW.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wiryosumarto, Harsono Prof, DR, Ir dan Okumura, Toshie, Prof, DR, *Teknologi Pengelasan Logam*, Pradnya Paramita. Jakarta 2000.
2. ASME Sec. “*Qualification Standart for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operators*”, ASME, New York, 1995.
3. *JETRO*, (Japan External Trade Organization)
4. Van Vlack H, Lawrence; Djaprie, Sriati, “*Ilmu dan Teknologi Bahan*”, Erlangga, Jakarta 1995.