

Studi Kelayakan Proses Pengelasan Smaw Dan Fcaw Di Pt. Dok Jmi Semarang Dari Aspek Teknis Dan Ekonomis

Sugeng Haryadi

Program Studi Teknika, UNIVERSITAS MARITIM AMNI Semarang

Email: sugengharyadi03@gmail.com

Sunu Arsy Pratomo

Program Studi Teknika, UNIVERSITAS MARITIM AMNI Semarang

Email: shoeyzero@gmail.com

Korespondensi Penulis: sugengharyadi03@gmail.com

Abstract. *The development of welding technology in this era took place rapidly, especially in the sector of new ship building and ship construction repair. Incorrect welding activities often cause delays which cause costs, time and consumables losses. In order to develop the speed and efficiency of the welding work, it is mandatory to determine a welding method that is suitable for the site conditions. This study provides a choice of three welding methods consisting of the SMAW and FCAW welding methods based on their strength and economic value. To strengthen the results of welding can be tested with a destructive test consisting of a tensile test, bending test and impact test. Next, the calculation of the welding cost per kg, welding speed per meter and electrode consumption is carried out to find out the difference in the economic value of all the welding materials. When tested, it was found that there was no difference in tensile strength between SMAW and FCAW.*

Welding method, maximum 1%, but SMAW welding method has 4% better yield strength than FCAW welding method. The ductility value of the FCAW welding method is 34% better than the SMAW welding method. The FCAW welding method has 67% better economic value when compared to the SMAW welding method. The FCAW welding method has a speed of 72% better than the SMAW welding method, and the FCAW welding method is 50% more efficient than the SMAW welding method.

Keywords: SMAW, FCAW, technical aspects, economic aspects

Abstrak. Perkembangan teknologi pengelasan pada era ini berlangsung secara cepat terutama pada sektor pembangunan kapal baru dan perbaikan konstruksi kapal. Kegiatan pengelasan yang kurang tepat sering menimbulkan keterlambatan yang menyebabkan kerugian biaya, waktu dan bahan habis pakai. Untuk mengembangkan kecepatan dan efisiensi pekerjaan pengelasan wajib ditentukan metode pengelasan yang sesuai dengan kondisi lokasi. Penelitian ini memberikan pilihan tentang tiga metode pengelasan yang terdiri dari metode las SMAW dan FCAW berdasarkan penguatan dan nilai ekonomisnya. Untuk memperkuat hasil pengelasan dapat diuji dengan uji destruktif yang terdiri dari uji tarik, uji lentur dan uji impak. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya las per kg, kecepatan las per meter dan konsumsi elektroda untuk mencari tahu perbedaan nilai ekonomis dari semua bahan las tersebut. Saat dilakukan pengujian diketahui bahwa tidak ada perbedaan kekuatan tarik antara SMAW dan FCAW.

Metode pengelasan, maksimal 1%, tetapi metode las SMAW memiliki kekuatan luluh 4% lebih baik daripada metode las FCAW. Nilai daktilitas metode las FCAW 34% lebih baik dibanding dengan metode las SMAW. Metode las FCAW memiliki nilai keekonomisan 67 % lebih baik jika dibandingkan dengan metode las SMAW. Metode las FCAW memiliki kecepatan 72% lebih baik daripada metode las SMAW, dan metode las FCAW 50% lebih efisien daripada metode las SMAW.

Kata kunci : SMAW, FCAW, aspek teknis, aspek ekonomis

1. PENDAHULUAN

Pada industri maritim termasuk di dalamnya adalah industri perkapalan, bahan baku yang dipergunakan lebih dari 90% adalah plat baja [1], konstruksi penyambungannya dilakukan menggunakan metode pengelasan. Pada saat penyambungan dua buah logam baja

di industri perkapalan dengan menggunakan metode pengelasan memberikan beberapa kelebihan di antaranya adalah [2]:

- Metode dengan biaya paling murah dibanding dengan metode yang lain.
- Berat benda dengan metode ini lebih ringan bila dibandingkan dengan cara klem atau mur baut.
- Bisa dipergunakan untuk menyambung sebagian besar logam komersial.
- Bisa dipergunakan untuk segala tempat dan pada posisi manapun, mudah untuk mendesain sambungan dan sangat fleksibel.
- Dapat menyalurkan kekuatan yang relatif sama dengan logam asli.

Bersamaan dengan kemajuan pada bidang konstruksi baja maka perlu di dukung dengan adanya teknologi yang menunjang dan memadai. untuk memperbaiki kualitas konstruksi baja. Kemajuan dari konstruksi baja tidak dapat di pisahkan dari proses pengelasan, karena sektor industri tersebut sedikit banyak menggunakan proses pengelasan dalam produknya. Pentingnya proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, memangkas waktu relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif [3].

Pengelasan bukan komponen utama dari konstruksi, tetapi merupakan salah satu sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik, oleh sebab itu rancangan las dan cara pengelasan wajib memperhatikan kesesuaian antara sifat pengelasan dengan fungsi konstruksi dan keadaan di sekitarnya secara efisien [4]. Prosedur pengelasan terlihat sangat sederhana, tetapi faktanya banyak masalah yang harus diatasi, yang tentu saja pemecahannya memerlukan berbagai macam bidang pengetahuan. Oleh sebab itu dalam pengelasan pengetahuan teknologi harus turut serta mendampingi aplikasi di lapangan. Secara mendalam dapat dikatakan bahwa dalam merancang konstruksi dengan metode sambungan las wajib direncanakan pula metode pengelasan, bahan dasar dan jenis elektroda yang akan digunakan menyesuaikan dengan fungsi dari bagian-bagian konstruksi yang dirancang.

Baja karbon adalah salah satu jenis logam yang paling umum digunakan untuk berbagai bidang teknik terutama keperluan industri seperti konstruksi bangunan, konstruksi pesawat terbang, pembuatan alat-alat perkakas, dan sebagainya [5]. Besarnya penggunaan jenis logam baja tidak terlepas dari sifat yang dimiliki, yaitu; mudah didapat di pasaran, mudah dibentuk dan diproses sekaligus memiliki sifat permesinan yang baik dan harganya cukup murah. Biasanya bangunan di tepi pantai dirancang dapat dipergunakan dengan kurun waktu 20-25 tahun dan dalam kurun waktu tersebut konstruksi platform harus terjamin dari segi keselamatan, kinerja dan kekuatan untuk menerima beban lingkungan di sekitarnya. Namun,

selama dalam kurun waktu tersebut tidak menutup kemungkinan mengalami kerusakan pada struktur. Pada kasus tertentu kita sering menemukan di lapangan terjadi kegagalan pada konstruksi dikarenakan kekuatan sambungan las maupun material yang dipakai. Pada saat komponen/bagian dari konstruksi itu disambung dengan pengelasan, maka wajib dipahami tidak hanya terjadinya tegangan sisa pada pengelasan tetapi juga adanya distorsi. Oleh sebab itu kita harus pastikan standar material yang digunakan, kualitas pengelasan wajib di perhatikan untuk menjaga mutu yang di hasilkan, tentunya harus sesuai dengan standar yang ada [6].

Pada industri pengelasan proses yang umum digunakan dalam penyambungan logam dan paduannya adalah Flux-Cored Arc Welding (FCAW). Flux-Cored Arc Welding (FCAW) mempunyai beberapa keuntungan seperti tingginya angka endapan, memiliki toleransi lebih baik terhadap karat dalam skala besar dibandingkan dengan GMAW, lebih sederhana dan mudah diadaptasikan dari pada SAW, keahlian operator tidak begitu penting dari pada proses GMAW, produktivitasnya lebih tinggi dari pada SMAW dan memiliki hasil permukaan yang bagus [7].

Pada industri reparasi yang proses pengelasan yang cocok adalah menggunakan metode Manual Metal Arc Welding (MMAW), akan tetapi proses Flux-Cored Arc Welding (FCAW) menguntungkan dan telah mendapat apresiasi oleh kalangan industri selama bertahun-tahun. Standar proses pengelasan untuk Flux-Cored Arc Welding (FCAW) dikategorikan sebagai teknik pengelasan busur listrik yang bisa dilakukan secara otomatis dan memungkinkan menggunakan robot. Untuk menentukan prosedur pengelasan wajib secara spesifik guna menjamin kualitas yang bagus pada manik-manik las. sehingga kualitas pengelasan yang diperlukan bisa sesuai, selain itu penting untuk mengontrol secara penuh terhadap standar proses yang relevan untuk mendapatkan geometri manik-manik las dan bentuknya dari hasil pengelasan [8]. Hasil penelitian ini didapatkan dari hubungan antar proses parameter, geometri manik-manik las dan sifat tarik pada sambungan baja karbon rendah oleh robot FCAW memperlihatkan bahwa dengan naiknya tegangan busur atau arus pengelasan pada FCAW maka menyebabkan penurunan kekuatan tarik dan kekuatan luluh dari hasil pengelasan. Ketika kecepatan pengelasan meningkat, kekuatan las juga meningkat [9].

Kegiatan pengelasan terutama di proyek pembangunan kapal baru sering menggunakan metode pengelasan yang kurang tepat sehingga menyebabkan keterlambatan penyerahan kepada pemilik kapal dan menimbulkan kerugian biaya/cost, waktu maupun material. Oleh karena itu perlu adanya penelitian perbedaan pengelasan yang menggunakan beberapa

metode pengelasan, metode tersebut dapat meningkatkan kecepatan proses produksi dengan menekan biaya produksi yang nantinya bisa mengurangi reworks diakibatkan karena kesalahan dalam pengelasan.

Pada saat penelitian ini dilaksanakan, analisa menggunakan metode proses pengelasan SMAW dan FCAW ditinjau dari segi teknis dan nilai ekonomis. Dilanjutkan dengan melakukan pengujian mekanis/destructive test yaitu uji tarik, uji tekuk dan uji tumbuk serta penghitungan efisiensi waktu pengelasan dan banyaknya elektroda yang terdeposit per meter [10].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah cara yang dipergunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian. Kesuksesan dalam penelitian ini tergantung dari metode yang dipergunakan. Untuk keberhasilan kegiatan penelitian, maka, diwajibkan menggunakan suatu metode atau teknik yang terancang dan dapat diukur secara ilmiah. Penelitian ini adalah penelitian diskriptif kualitatif yaitu penelitian yang menitik beratkan kepada eksperimen, yaitu kegiatan percobaan secara langsung terhadap benda uji untuk melihat hasil yang terjadi perlakuan yang diberikan terhadap obyek, yaitu Mild Steel (ST.42).

2.1 Bahan Spesimen Uji

Pada pengujian material yang digunakan adalah baja carbon rendah jenis ST 42 yang memiliki ketebalan 10 mm dan telah disetujui oleh Bureu Veritas dengan data sebagai berikut:

1) Mechanical properties

TS N/mm ²	YS N/mm ²	E %
464	327	27

2) Chemical Composition

C	Si	Mn	P	S
0.14	0,27	0.65	0,026	0,006

2.2 Elektroda pada proses pengujian

Kawat las yang dipergunakan untuk penelitian telah disesuaikan pada karakteristik material dasar yang akan dilas. Metode proses pengelasan yang dipergunakan adalah proses las FCAW, SMAW dan SAW dengan data berikut ini:

2.2.1 Elektroda pada proses SMAW

Elektroda yang digunakan pada proses las SMAW adalah ESAB, E 6013 dia 3,2 mm dan 4 mm, AWS. A5.1 dengan data berikut ini:

1) Mechanical properties

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

2) Chemical Composition

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

2.2.2 Elektroda pada proses las FCAW

Elektroda yang digunakan pada proses las FCAW adalah KISWEL AWS A5.20 E71T-1 dia 1,2 mm menggunakan pelindung gas CO₂ dengan data berikut ini:

1) Mechanical properties

TS N/mm ²	YS N/mm ²	E %
580	520	29

2) Chemical composition

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

2.2.3 Elektroda pada proses las SAW

Elektroda yang digunakan pada proses las SAW adalah ESAB OK 12.22 AWS A5-17 EM 12K dia 4 mm dengan pelindung Flux ESAB OK 10.71 dengan data elektroda berikut ini:

1) Mechanical properties

TS (MPa) N/mm ²	YS (MPa) N/mm ²	E %
520	425	29

2) Chemical composition

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

2.3 Proses Pengelasan

Proses pengelasan dilaksanakan dan dipersiapkan dibengkel tertutup galangan kapal PT. Dok JMI Semarang dengan metode pengelasan FCAW, SMAW dan SAW. Pekerjaan pengelasan ini menggunakan metode dan prosedur pengelasan yang umum digunakan oleh pihak galangan yang personal/operator las tersebut memiliki sertifikat BV.

2.4 Pengetesan Visual

Pengetesan secara visual mencakup pemeriksaan sambungan las terhadap kemulusan pengerjaan dan keseluruhan dimensi. Hasil las diperiksa untuk meyakinkan bahwa lokasi dan ukuran sesuai dengan yang spesifikasi pada lembar kerja. Pemeriksaan dilaksanakan secara cepat dan jurah dengan menggunakan peralatan kaca pembesar, jangka sorong, mistar, micrometer, meteran. Pemeriksaan secara visual dilaksanakan sebelum pengelasan, pada waktu proses pengelasan dan setelah pengelasan selesai dilaksanakan.

2.5 Pemeriksaan sebelum pengelasan

Sebelum proses pengelasan dilaksanakan, pemeriksaan bahan dilakukan dengan langkah sebagai berikut [11]:

- a) Memeriksa pinggiran yang akan dilas (sudut bevel / sudut kampuh, celah akar / gap, tinggi leher), dimensi dan penyetelannya.
- b) Melakukan pengukuran backing strip, backing ring, backing weld, fore plat (jika diperlukan)
- c) Melaksanakan aligment dan penyetelan (fit up) dari bagian-bagian yang akan dilas
- d) Dilakukan pembersihan (tidak boleh ada kotoran seperti lemak, cat, minyak, dan lainnya)

2.6 Pemeriksaan pada proses pengelasan

Pemeriksaan secara langsung dengan memeriksa rincian pekerjaan dan melihat proses pengelasan meliputi:

- a) Proses las (mesin las, parameter pengelasan)
- b) Logam pengisi (filter metal)
- c) Gas pelindung (gas shielding)
- d) Suhu pemanasan awal (preheating) dan suhu antar alur las (interpass)
- e) Pembersihan
- f) Penggerindaan atau gouging

2.7 Pemeriksaan setelah pengelasan

Pemeriksaan setelah pengelasan bertujuan untuk memeriksa hasil pengelasan yang telah selesai, yaitu:

- Hasil sambungan las
- Discountinuitas structural
- Tanda yang muncul akibat kesalahan penanganan.
- Deformasi yang terjadi.

Jenis deformasi dibagi menjadi beberapa macam, yaitu:

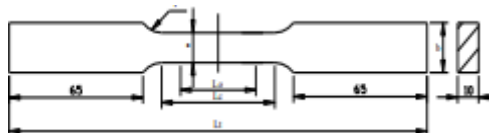
- Penyusutan pada spesimen. Tingkat penyusutan yang terjadi dipengaruhi oleh tebal plat, kecepatan pengelasan dan besar arus yang digunakan. Penyusutan yang terjadi kearah memanjang sangat kecil bila dibandingkan pada penyusutan yang terjadi pada arah melintang. Hal ini disebabkan adanya perlawanan dari logam induk
- Perubahan sudut terjadi disebabkan adanya perbedaan suhu antara permukaan yang dilas dan permukaan sebaliknya. Setelah dilakukan penyambungan plat ST 42 menggunakan metode pengelasan SMAW dan FCAW proses penyambungan pada masing-masing plat. Kemudian akan dilakukan pembentukan benda uji yang terdiri dari benda uji tarik, bending dan impact dengan standart JIS.

2.8 Pengujian bahan

Material sampel dari hasil pengelasan SMAW dan FCAW yang telah dilas dan dibentuk sesuai dengan standar, kemudian diuji dengan tahapan sebagai berikut:

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

Ukuran specimen uji tarik berdasarkan JIS 2201



Gambar 1. Bentuk specimen uji tarik

Keterangan:

Ukuran	<i>Specimen proporsional 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 filter

a. Rumusan yang dipakai dalam uji tarik

Yaitu bila 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 sumbunya. Rumus tegangan tarik adalah [12]:

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

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (N / mm²)

P = Gaya max. (N / mm²)

A = Luas penampang mula-mula (mm²)

b. Perubahan bentuk aksial (regangan)

Besar regangan merupakan perbandingan dari selisih panjang sesudah putus dan panjang mula-mula dengan panjang mula-mula. Rumus besar regangan adalah [13]:

$$\varepsilon = \frac{[L_u - L_0]}{L_0} \times 100\%$$

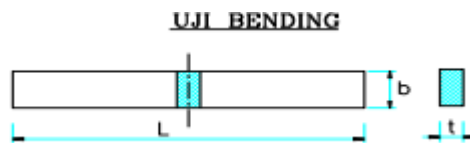
ε = Regangan (%)

Lo = Panjang mula-mula (mm)

Lu = Panjang sesudah putus (mm)

2.8.1 Pengujian Tarik (*tensile test*)

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana sifat kelenturan dan kegetasan dari bahan serta untuk mengetahui deformasi dengan radius bengkok tertentu.. Untuk metode pengujian yang digunakan 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 sibuat 3 (tiga) buah specimen uji tekuk dengan standart JIS 2204.



Gambar 2. Bentuk specimen uji Tekuk

Ukuran sampel uji adalah sebagai berikut:

Panjang = 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 [14]:

$$\sigma_{Lentur} = \frac{P_{maks} \times I_s}{4W} N/mm^2$$
$$W = \frac{b \times h^2}{6} mm^3$$

Dimana

L_s : Jarak antar dua tumpuan

W : Moment inertia

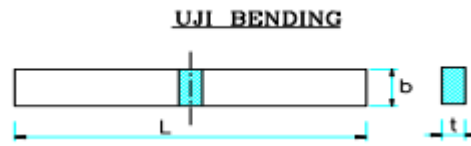
b : lebar specimen

t : tebal spesimen

2.8.2 Pengujian Tekuk (*bending test*)

Pengujian dilakukan guna mengetahui sifat dari kelenturan dan kegetasan bahan dan mengetahui deformasi dengan radius bengkok tertentu. Untuk metode pengujian yang digunakan adalah Triple Point yaitu benda uji ditumpu dengan satu tumpuan dibagian atas benda uji dan dua tumpuan dibagian bawah benda uji.

Plat dari hasil pengelasan menggunakan proses SMAW dan FCAW dibuat 3 (tiga) buah spesimen uji tekuk dengan standart JIS 2204.



Gambar 2. Bentuk specimen uji Tekuk

Ukuran sampel uji yang dipergunakan adalah sebagai berikut ini: Panjang = 150 mm
Tebal = 20 mm Lebar = 10 mm Dari hasil pengujian tekuk didapatkan data gaya tekan maximum (P max). Dari data yang didapatkan dihitung tegangan lentur maximumnya (σ lentur) dengan rumus sbb [14] :

$$\sigma_{Lentur} = \frac{P_{maks} \times I_s}{4W} N/mm^2$$
$$W = \frac{b \times h^2}{6} mm^3$$

Dimana

Ls : Jarak antar dua tumpuan

W : Moment inertia

b : lebar specimen

t : tebal specimen

2.8.3 Pengujian Tumbuk (*impact test*)

Pengujian ini dilaksanakan guna mengetahui energi tumbukan atau tegangan keuletan yang dapat ditahan material tersebut pada posisi daerah lasan (welding metal). Setelah dilakukan pengujian hasil yang didapatkan adalah data besarnya tenaga patah dalam Joule./mm². Dari data tersebut maka dihitung tegangan maximum (σ max) yang dapat ditahan oleh material tersebut dengan membagi gaya max (Pmax) dengan luas penampang sample (A) [14].

$$\sigma_{Maks} = \frac{P_{maks}}{A} Joule/mm^2$$

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



Gambar.3. Bentuk specimen uji tumbuk

2.8.4 Perhitungan nilai ekonomis

Pada saat pembangunan kapal biasanya biaya produksi dipengaruhi oleh biaya material, upah tenaga kerja, biaya overhead [15]. Dari beberapa faktor tersebut diatas penulis hanya menganalisa faktor biaya yang berkaitan dengan pengelasan. Hal tersebut karena asumsi dalam pembangunan kapal bahwa penyambungan pelat baja selalu menggunakan teknik pengelasan, hanya saja metode pengelasan yang dipergunakan bermacam-macam. Pada umumnya data-data teknik dalam proses pengelasan kapal didapatkan dari hal-hal berikut:

- Operator factor di dalam pengelasan adalah kerja sesungguhnya dari seorang welder untuk mendepositkan pengelasan kesambungan. Artinya waktu kerja dihitung hanya ketika api las menyala.
- Effisiensi Consumables merupakan kilogram logam las yang dihasilkan dari kilogram elektroda yang digunakan untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi.
- Deposition Rate merupakan jumlah lasan yang diperoleh welder dalam satuan waktu. Deposition rate berhubungan langsung dengan kecepatan pengelasan.
- Groove Angle (Joint) merupakan besar sudut sambungan yang harus disediakan. Untuk meperkecil sudut maka harus memperkecil pula jumlah lasan pada ketebalan plat tertentu.

Tabel 1. Perhitungan efisiensi

	SMAW	FCAW
<i>(OF)</i>	5 – 30 %	10 – 60%
<i>(EC)</i>	50–65 %	85-90%
<i>(DR)</i>	1-1,5 kg/jam	2–5,2 kg/jam
<i>Joint</i>	60 ⁰	60 ⁰

Keterangan:

OF = Operator Factor

EC = Effisiensi Consumables

DR = Deposition Rate

Untuk fungsi ekonomis yang wajib diperhatikan proses pengelasan adalah sebagai berikut [16]:

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

2.8.5 Perhitungan Direct Cost dan Indirect Cost

Permusan nilai direct cost dan indirect cost berdsarkan dari formula sebagai berikut:

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.
- Flux Cost (Rp./kg.las) = Jumlah hrga flux per kg las

b. Indirect Cost terdiri dari :

- Weld Metal Required (kg consumables/meter joint) = Weld per joint / Effisiensi
- Working speed (m/jam) = Deposition rate/weld per joint

2.8.6 Perbandingan Nilai Ekonomis

Fungsi ekonomi yang harus dihitung saat melakukan penilaian pada suatu proses pengelasan adalah dengan menghitung nilai fungsi direct cost yang terdiri dari labor, overhead, weld metal cost, gas cost dan indirect cost yang terdiri dari : Working Speed dan jumlah lasan yang dibutuhkan untuk pelat yang sama.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Pengujian Tarik (Tensile Test)

Data yang dihasilkan pada saat pengujian tarik hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besarnya nilai dari gaya maksimal pada saat putus (P max) dan penambahan panjang material para saat putus (ΔL). Setelah sampel pengelasan

dilakukan pengujian tarik maka didapatkan harga tegangan maksimum (σ_{max}), tegangan putus (σ_{putus}), dan elongation (ϵ). Untuk setiap variabel percobaan menggunakan tiga sample spesimen. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan dan data yang didapat saat pengujian tarik yang telah disesuaikan berdasarkan metode pengelasan yang digunakan.

Tabel 2. Data hasil pengujian tarik dan perhitungannya

No	A mm ²	Pmax N	σ_{max} N/mm ²	ϵ %	Lksi Pts
TM1	114	53.800	471,6	14,2	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		

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

t_0 = Tebal specimen

b_0 = Lebar specimen

l_0 = Panjang specimen mula-mula

l_1 = 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

Dari data yang didapatkan, hasil pengelasan dengan proses SMAW dan FCAW, putusnya spesimen pada daerah metal dasar menunjukkan bahwa kekuatan hasil pengelasan ketiga proses las tersebut memenuhi standar persyaratan keterterimaan. Dari hasil tegangan tarik max dari ketiga spesimen yang dihasilkan dari proses pengelasan secara SMAW dan FCAW didapatkan hasil yang hampir sama dan tidak menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan, perbedaan tersebut berkisar maksimal 1% .

3.2 Data Hasil Pengujian Tekuk (*Bending Test*)

Data yang dihasilkan oleh uji tarik diambil dari sample hasil pengujian yang hasilnya berupa grafik yang menunjukkan besarnya harga gaya beban max saat menekuk. Dari pengujian tekuk tersebut maka diperoleh harga gaya beban (P beban) dan tegangan lentur max (σ max). Untuk setiap variabel pengujian terdapat tiga sampel spesimen. Tabel 3. adalah data hasil perhitungan yang didapat pada saat pengujian tekuk yang dikelompokkan sesuai dengan metode pengelasan yang digunakan.

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	608	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

Keterangan :

t0 = Tebal spesimen

b0 = Lebar spesimen

W = Luas penampang specimen

Ls = 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 : 3 untuk proses las FCAW

BC3 = Spesimen bending no : 3 untuk proses las FCAW

Dari data hasil uji tekuk dapat dilihat bahwa setelah ditekuk hasil pengelasan tidak ada keretakan, baik pengelasan dengan metode SMAW maupun FCAW. Hal tersebut telah memenuhi standar hasil las yang dapat digunakan. Tegangan lentur yang dibutuhkan pada saat menekuk spesimen hasil pengelasan dengan metode SMAW lebih besar 4% dibandingkan metode FCAW.

3.3 Data Hasil Pengujian Tumbuk (Impact Test)

Data hasil pengujian tumbuk diperoleh dari sampel hasil pengujian berupa grafik yang menunjukkan besarnya gaya patah pada saat beban pukul mematahkan spesimen. Dari hasil pengujian tumbuk yang dilakukan dengan variasi metode pengelasan maka diperoleh nilai keuletan.

Tabel 4. menunjukkan hasil dari perhitungan data yang didapat saat dilakukan 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

Keterangan :

Beban pukul = 8,5 Kg / 150 Joule

Radius beban pukul = 83 cm

t0 = tebal specimen

b0 = lebar specimen

A = Luas penampang specimen

P = Gaya saat patahkan spesimen

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

Kesimpulan yang didapat adalah harga keuletan hasil pengelasan dengan metode FCAW lebih ulet sebesar 34 % dibandingkan dengan metode SMAW.

3.4 Analisa Perbandingan Harga Ekonomis

Analisa ini disusun berdasar data yang diperoleh dari sumber langsung dan data aplikasi di lapangan yaitu di galangan kapal PT. Dok JMI Semarang. Komponen tersebut yaitu:

- a. Biaya upah pekerja las (labor Cost) = Rp. 150.000,-/hari = Rp.18.750,-/ jam
- b. Biaya Overhead :
- Sewa alat perlengkapan las (mesin las, selang dan handle las) = Rp. 495.000,- / hari
= Rp. 61.875,- / jam
- Pengujian (NDT dan DT) = Rp. 700.000,- / unit = Rp. 87.500,- / jam
- Konsumsi listrik :
- Proses SMAW = $25 \text{ V} \times 150 \text{ A} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 1.522,88,- / \text{kwh} = \text{Rp. } 571,080 / \text{kwh}$
- Proses FCAW = $30 \text{ V} \times 250 \text{ A} \times 1 \text{ jam} \times \text{Rp. } 1.522,88,- / \text{kwh} = \text{Rp. } 114.216,- / \text{kwh}$
- c. Harga Elektroda Las / Kg :
- Elektroda SMAW merk NCL-39L = Rp. 200.000,- / kg
- Elektroda FCAW merk Enka Fcw71t = Rp. 500.000,- / 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 DAIDEN SERI E71T-11
- Harga = Rp. 161.000,-
- 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 = $1,6 \text{ kg/jam} : 7,2 \text{ m/jam} = 0,222 \text{ kg / m}$
- Metode FCAW = 0,57 kg / m (ref. ESAB hal 139 fifth edition) .
- Dari data tersebut diatas didapatkan biaya overhead untuk setiap proses las / jam, yaitu sebagai berikut :
- Proses SMAW = Rp.18.750,- + Rp. 61.875,- + Rp. 87.500,- + Rp. 571,080,- + Rp. 200.000,- = Rp. 939.205,-
- Proses FCAW = Rp.18.750,- + Rp. 61.875,- + Rp. 87.500,- + Rp.114.216,- + Rp. 500.000,- = Rp. 782.341,-
- Setelah data yang didapat dilakukan analisa, maka secara ekonomis pengelasan dengan metode FCAW lebih murah atau kecil biaya per kg lasnya apabila dibandingkan dengan metode SMAW. Dan untuk kebutuhan elektroda per meter joint pengelasan dengan metode SMAW lebih ekonomis dibanding dengan metode FCAW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari data yang diperoleh pada saat penelitian, maka dapat dilakukan analisa dan diambil kesimpulan bahwa:

- 1) Perbedaan daya mekanis yaitu :
 - a. Tegangan tarik rata-rata yang diperoleh dari perhitungan dengan metode SMAW maupun metode FCAW tidak memiliki perbedaan yang signifikan dan hanya bernilai sekitar 1 %. Daya Tarik pada metode SMAW lebih besar 1 % bila dibandingkan dengan metode SMAW. Daya Tarik pada metode SMAW adalah 466 N/mm² dan pada metode FCAW adalah 470,87 N/mm².
 - b. Rata-rata tegangan lentur yang dihasilkan oleh pengelasan dengan ketiga metode tersebut adalah berkisar pada nilai 4% - 14%. Tegangan lentur yang diperoleh dengan metode SMAW lebih besar 4% apabila dibandingkan dengan metode FCAW. Tegangan lentur rata-rata pada metode SMAW adalah 511 N/mm² dan pada metode FCAW adalah 490 N/mm². Berdasarkan nilai tersebut maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan dengan metode SMAW mempunyai tegangan lentur lebih baik.
 - c. Rata-rata nilai keuletan dari hasil pengelasan ketiga metode tersebut adalah berkisar antara 34% - 37%. Hasil pengelasan dengan metode FCAW memiliki keuletan lebih baik 34 % bila dibandingkan dengan metode SMAW. Nilai keuletan pengelasan dengan metode FCAW adalah 1,389 Joule/mm² dan untuk metode SMAW adalah 0,9233 Joule/mm². Metode FCAW memiliki nilai keuletan lebih baik, hal ini disebabkan oleh adanya heat input pada saat proses las FCAW yang lebih stabil.
- 2) Perbedaan nilai ekonomis, yaitu :
 - a. Perbedaan besar biaya pengelasan menggunakan kedua metode tersebut adalah 42% - 67%. Biaya pengelasan pada metode FCAW lebih murah 42% dibandingkan pada metode SMAW. Kesimpulan yang didapatkan adalah pengelasan dengan metode FCAW lebih ekonomis.
 - b. Perbedaan kecepatan pengelasan pada ketiga metode tersebut adalah 63% - 72%. Pengelasan dengan metode FCAW lebih cepat 72% bila dibandingkan dengan metode SMAW. Kecepatan yang didapat pada metode SAW adalah 24,5 m/jam, pada metode FCAW adalah 9,122 m/jam dan pada metode SMAW adalah 6,81 m/jam. Kesimpulan yang didapatkan bahwa untuk pencapaian target produksi pengelasan dengan metode FCAW lebih cepat dibanding dengan metode SMAW.

- c. Pada perbedaan efisiensi pemakaian elektroda per meter joint, (weld metal deposit required) ketiga metode pengelasan tersebut adalah 6% - 50%. Pengelasan dengan metode FCAW memiliki efisiensi 50% lebih baik dibanding dengan metode SMAW. Jumlah elektroda yang didepositkan per meter joint dengan metode metode FCAW adalah 0,633 kg/m joint dan metode SMAW adalah 0,338 kg/m joint. Kesimpulannya adalah pengelasan dengan metode metode FCAW lebih ekonomis daripada metode SMAW.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih tak terhingga bagi semua pihak yang telah mendukung selama proses penelitian dan penyusunan laporan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Sugeng, S., & Sulaiman, S. (2019). Analisa Proses Penyambungan Hull Construction Dengan Superstructure Kapal Dari Material Yang Berbeda. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 63-70.
- Refaldy, R. (2019). *RANCANG BANGUN ALAT PENEPAT PRODUKSI KURSI SECARA MASSAL DENGAN METODE PENGELASAN (BIAYA PRODUKSI)* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA).
- Agustono, H. (2019). *Analisa Kekuatan Tarik dan Lentur Sambungan Las Baja ST-41 Dengan Media Pendingin Oli SAE10W-40* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- RIZAL, R. (2021). *PENGOPERASIAN DAN PERAWATAN MESIN LAS LISTRIK DALAM PEMBUATAN CEROBONG KM. LAUT MADU DI UPP KELAS III JUWANA. KARYA TULIS.*
- Asmeati, Y., & Yanti, Y. (2019). Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja Karbon Tinggi Bohler K460. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 12(2), 124-139.
- Mulia, N. A. C. (2022). *Pengendalian Kualitas Pengelasan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) dan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di PT. PAL Indonesia* (Doctoral dissertation, UPN Veteran Jawa Timur).
- Dharmawan, O. (2019). Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lebar Haz Pada Material A36 Dengan Menggunakan Metode Las Gtaw. *Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*
- LAILIYAH, I. (2017). *ANALISIS PERBANDINGAN PROSES PENGELASAN SAW DAN FCAW PADA MATERIAL ASTM A 36 TERHADAP UJI TAKIK.*
- Mulyadi, S. T., & Iswanto, I. (2020). *Teknologi Pengelasan.*
- Perdana, D., & Syarif, A. B. (2015). Analisa Pengaruh Jenis Pengelasan SMAW Dan FCAW Terhadap Sifat Mekanis Baja ASTM A36 Pada Konstruksi Landside Upper Leg. *ReTII.*
- Dharmawan, O. (2019). Pengaruh Variasi Suhu Preheat Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lebar Haz Pada Material A36 Dengan Menggunakan Metode Las Gtaw. *Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*

- Bisuk, R. (2020). PERANCANGAN MESIN PRESS PAPAN SKATEBOARD UKURAN 8.0. *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, 2(1), 22-42.
- Syahrani, A., Naharuddin, N., & Nur, M. (2018). Analisis kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada pengelasan smaw stainless steel 312 dengan variasi arus listrik. *Jurnal Mekanikal*, 9(1).
- Gerson, G., Kismanti, S. T., & Nurdin, M. F. (2023). Rancang Bangun Mesin Uji Tarik, Tekan Dan Tekuk (Bending) Menggunakan Tenaga Hidrolik. *Journal BEARINGS: Borneo Mechanical Engineering and Science*, 2(1), 1-14.
- Fathinah, A. M. A. (2018). *Penentuan harga pokok produksi yang dipengaruhi oleh fluktuasi biaya raw material (studi kasus di cv. Conesta utama surabaya)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945).
- LIDYA, R. ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA PRODUKSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN BIAYA VARIABLE COSTING PADA PERUSAHAAN.