

Analisis Kekuatan *Butt Joint* dan *Lap Joint* pada Pengelasan Konstruksi Kapal

Bagiyo Suwasono^{1*}, Muhammad Rizal², Nur Yanu Nugroho², Didik Hardianto²

¹Teknik Kelautan Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan (FTIK) Universitas Hang Tuah

²Teknik Perkapalan Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan (FTIK) Universitas Hang Tuah

Jl. Arief Rahman Hakim No.150 Keputih Sukolilo Surabaya 60111 Jawa Timur

*bagiyo.suwasono@hangtuah.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v16i2.19914>

Abstrak

Penyambungan baja dalam konstruksi kapal dilakukan melalui teknologi pengelasan. Salah satu proses penyambungan menggunakan dua jenis sambungan las, yaitu *butt joint* dan *lap joint*. Penelitian ini mengidentifikasi kekuatan material uji dari pelat baja ASTM A36 pada sambungan las dengan standarisasi uji tarik. Kegiatan eksperimen menggunakan mesin uji tarik dan kegiatan simulasi menggunakan *SolidWorks*. Nilai rata-rata uji tarik untuk *butt joint* dan *lap joint* menunjukkan kekuatan luluh 288,89 dan 200 N/mm², kekuatan akhir 419,11 dan 280 N/mm², reduksi luas penampang 49,33 dan 43,33%, regangan 7% dan 18,67%, modulus elastisitas 60,81 dan 15 N/mm². Simulasi uji tarik untuk *butt joint* dan *lap joint* menunjukkan adanya deformasi plastis di mahkota las, akar, toe, dan HAZ. Nilai perbedaan eksperimen dan simulasi untuk *butt joint* berkisar 941,67 hingga 1.519,67 N/m², dan *lap joint* berkisar 1.030 hingga 4.694 N/m². Hasil akhir menunjukkan bahwa pengelasan SMAW dengan tipe *butt joint* memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *lap joint*.

Kata Kunci : pengelasan, *butt joint*, *lap joint*, simulasi uji tarik

Abstract

The joining of steel in ship construction was carried out through welding technology. One of the joining processes used two types of welded joints, namely butt and lap joints. This study identified the strength of the test material from ASTM A36 steel plates at welded joints by standardizing the tensile test. Experimental activities using a tensile testing machine and simulation activities using SolidWorks. The average tensile test values for butt and lap joints show yield strengths of 288.89 and 200 N/mm², final strengths of 419.11 and 280 N/mm², reduction of cross-sectional areas of 49.33 and 43.33%, strain 7% and 18.67%, modulus of elasticity 60.81 and 15 N/mm². Tensile test simulations for butt and lap joints showed plastic deformation in the weld face, root, toe, and HAZ area. Experimental and simulated difference values for butt joints range from 941.67 to 1,519.67 N/m², and lap joints range from 1,030 to 4,694 N/m². The final results show that SMAW welding with the butt joint type has a higher strength value than the lap joint.

Key words : welding, *butt joint*, *lap joint*, tensile test simulation

PENDAHULUAN

Pekerjaan bidang rekayasa konstruksi yang semakin maju, tidak akan dapat dipisahkan dari perkembangan teknologi pengelasan. Unsur teknologi pengelasan dalam sambungan antar logam dengan kualitas baik secara teknis akan memerlukan seorang juru las yang terampil dalam bidang konstruksi secara luas, seperti perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran, dan lain sebagainya.

Article History:

Received: May, 1st 2023; **Accepted:** July, 29th 2023

Cite this as :

Suwasono, B., Rizal, M., Nugroho, N.Y & Hardianto, D. 2023. Analisis Kekuatan *Butt Joint* dan *Lap Joint* pada Pengelasan Konstruksi Kapal. *Rekayasa*. Vol 16(2). 243-249.

Pada sisi yang lain menurut Muhsin *et al* (2018) menunjukkan bahwa ada dua faktor yang mempengaruhi kualitas hasil las, yaitu prosedur pengelasan dan aspek produksi. Prosedur pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan pengelasan.

Aspek produksi meliputi jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, dan persiapan pengelasan (pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, dan penggunaan jenis kampuh). Sedangkan untuk proses pengelasan yang paling banyak digunakan dalam konstruksi umum di Indonesia adalah pengelasan *Shielding*

Metal Arc Welding (SMAW) dan gas (Raharjo dan Rubijanto, 2012). Di sisi yang lain untuk sambungan las di bidang perkapalan menurut BKI Part 1 - Vol. 2 (2022) harus disebutkan di dalam gambar dan dokumen manufaktur lainnya (seperti daftar komponen, jadwal pengelasan dan inspeksi) yang terkait bentuk dan ukuran las, dan bila ada bukti perhitungan yang diberikan, persyaratan sambungan las (tingkat mutu las, kategori detail).

Proses pengelasan untuk penyambungan material pelat baja sebagai material utama konstruksi yang dilakukan di galangan kapal (Priyantoro *et al.*, 2012) mayoritas menggunakan jenis pengelasan SMAW, *Flux Cored Arc Welding* (FCAW), dan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), dimana eksperimen luasan goresan permukaan sebesar 10% pada material uji baja karbon rendah grade A36 menunjukkan pengelasan SMAW memberikan kontribusi terbesar terhadap kecepatan laju korosi daripada pengelasan GMAW dan FCAW. Mohruni dan Kembaren (2013) menunjukkan variasi besaran kuat arus listrik dan kecepatan pengelasan mempengaruhi aspek kekerasan, tegangan tarik dan susunan struktur mikro dari setiap material uji. Azdkar *et al* (2018) pada hasil pengelasan SMAW dengan variasi elektroda dan konsentrasi 35% dengan penambahan bakteri menunjukkan elektroda E6013 memberikan kontribusi terendah terhadap laju korosi daripada E6010 dan E6019. Feriansah (2020) pada hasil pengelasan SMAW dengan variasi arus las menunjukkan adanya pengaruh pada nilai kekerasan dan kekuatan uji tarik. Ma'arif (2020) pada analisis distribusi tegangan sambungan las *butt joint* antara ASTM A36 dan AISI 304 menggunakan pemodelan simulasi *SolidWorks* menunjukkan patahan berada pada material uji ASTM A36 pada gaya tarik 11.000 hingga 13.000 N. Manurung et al (2021) pada hasil pengelasan SMAW dengan variasi polaritas dan arus las menunjukkan polaritas balik memiliki nilai kekuatan tarik dan elastisitas lebih tinggi daripada polaritas lurus, tetapi untuk nilai regangan terjadi kebalikannya.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu dan aktivitas terbesar galangan kapal Indonesia adalah penyambungan pelat menggunakan pengelasan SMAW. Penelitian ini bertujuan menganalisa sifat mekanis dari sambungan las tipe *butt joint* dan *lap joint* melalui proses uji tarik dan simulasi *solidwork*. Selanjutnya kedua data ini di proses lanjut secara statistik diskripsi dan *one-way ANOVA* untuk menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan

pada kekuatan tarik antara sambungan las SMAW tipe *butt joint* dan *lap joint* terhadap konstruksi kapal dengan material pelat baja ASTM A36.

METODE PENELITIAN

Pemilihan Material

Pemilihan material pelat baja yang digunakan untuk eksperimen ini telah disesuaikan pada kondisi penggunaan di konstruksi bangunan kapal dengan mengacu pada standar dari ASTM dan memiliki *grade* A36. Material pelat baja ASTM A36 ini memiliki komposisi kimia dan sifat mekanik seperti ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Komposisi Kimia ASTM A36

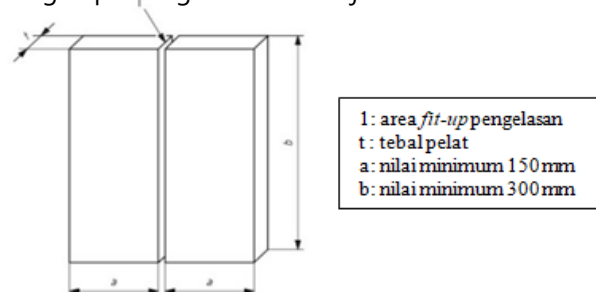
Unsur Kimia	Kandungan
Karbon (C), %	0,25 – 0,29
Mangan (Mn), %	0,60 – 1,20
Fosfor (P), %, maksimum	0,04
Belerang (S), %, maksimum	0,05
Silikon (Si), %	0,15 – 0,40
Tembaga (Cu), %, minimum	0,20
Besi (Fe), %, maksimum	98,00

Tabel 2. Sifat Mekanik ASTM A36

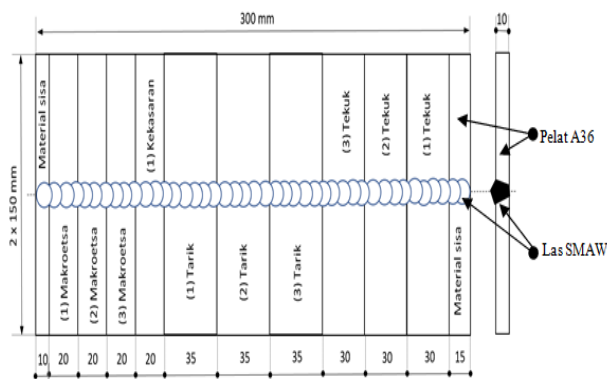
Parameter Uji Tarik	Metrik	Imperial
Kekuatan Tarik – Ultimate	400 – 550 MPa	58 – 80 ksi
Kekuatan Luluh – Yield Point	Minimum 250 MPa	Minimum 36.300 psi
Perpanjangan Putus (dalam 8 in atau 200 mm)	Minimum 20 %	Minimum 20 %
Perpanjangan Putus (dalam 2 in or 50 mm)	Minimum 23 %	Minimum 23 %

Pembuatan Material Uji

Pembuatan material uji dilakukan proses pengelasan SMAW pada dua lembar pelat uji dengan ukuran masing-masing 150 x 300 x 10 mm, sehingga hasil sambungan las membentuk material dengan ukuran 300 x 300 x 10 mm dengan pembagian material uji tarik.



Gambar 1. Prosedur untuk Pengelasan Material Uji *Butt Joint* (BKl Part 1 Vol. 5, 2022)



Gambar 2. Pembagian Material Uji (*Butt Joint* atau *Lap Joint*)

Tabel 3. Jumlah Material Uji

Jenis Pengujian	Butt Joint	Lap Joint
Uji Tarik	3 material uji	3 material uji
Uji Tekan	3 material uji	3 material uji
Uji Kekerasan	1 material uji	1 material uji
Uji Makroetsa	3 material uji	3 material uji

Proses pengelasan dilakukan di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya dengan mengacu pada ASME (2021) dan AWS (2022) dengan mesin las SMAW DCSP merk ESAB LCF 1200, jenis electrode E6013 dengan diameter 4,0 mm, dan posisi pengelasan 1G (*down hand*) untuk *butt joint single V-groove 60°* tanpa backing dan 1 lapisan ditampilkan pada Gambar 3. Model material uji untuk pengujian tarik ditampilkan pada Gambar 4 dan dimensi material ditampilkan pada Tabel 4



Gambar 3. Alat Pengelasan Material Uji

Tabel 4. Spesifikasi Teknis Awal Material Uji Tarik

Spesifikasi Teknis	Butt Joint			Lap Joint		
	Tr-1.1	Tr-1.2	Tr-1.3	Tr-2.1	Tr-2.2	Tr-2.3
1. Panjang Awal (L ₀) – mm	300	300	300	200	200	200
2. Lebar Awal (b ₀) – mm	24,82	24,41	24,87	12,34	12,40	12,27
3. Tebal Awal (t ₀) – mm	10,51	10,69	10,5	10,14	9,97	9,98
4. Luas Penampang Awal (S ₀) – mm ²	260,85	260,94	261,13	125,13	123,63	122,64



(a)



(b)

Gambar 4. Material Uji Tarik (a) Pengelasan *Butt joint*; (b) Pengelasan *Lap Joint*

Uji Tarik

Proses pengujian menggunakan mesin uji universal tipe UPD-20 seri 8877 dengan kapasitas 200 kN ditampilkan pada Gambar 5. Menurut BKI Part 1 Vol 5 (2022) bahwa besaran tegangan yang digunakan untuk memutuskan material uji berdasarkan prosentase reduksi, luas penampang, prosentase regangan dan modulus elastisitas



Gambar 5. Mesin dan Proses Uji Tarik

Analisis Statistik

Pendekatan analisa statistik dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu: (1) pengumpulan data uji tarik

melalui tiga sampel *butt joint* dan tiga sampel *lap joint*, (2) statistik diskripsi melalui perhitungan rata-rata, standar deviasi, *skewness*, dan (3) statistik inferensial melalui uji hipotesis dan perhitungan *one-way analysis of variance* (ANOVA) untuk menentukan adanya perbedaan yang signifikan diantara kelompok rata-rata (Illowsky dan Dean, 2018).

Simulasi Uji Tarik

Simulasi dilakukan pada material uji tarik untuk *butt joint* dan *lap joint* yang menggunakan aplikasi *SolidWorks*, dimana aplikasi ini mampu menganalisa tegangan dan regangan yang terjadi pada area material uji tarik (Nasution dan Widodo, 2022; Tanjung *et al.*, 2022). Ada batasan kriteria terjadinya deformasi plastis yang dilaksanakan secara simulasi melalui *von Mises stress* dan eksperimen melalui *yield stress* (Bhandari, 2010; Ugural dan Fenster, 2020) adalah sebagai berikut:

- Kriteria tidak terjadi deformasi plastis jika $\sigma_{\text{von Mises}} < \sigma_{\text{luluh}}$
- Kriteria akan terjadi deformasi plastis jika $\sigma_{\text{von Mises}} > \sigma_{\text{luluh}}$

HASIL PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan untuk uji merusak melalui proses pengujian dengan mesin uji tarik, dan uji tidak merusak melalui pemodelan simulasi dengan aplikasi *SolidWorks*. Hasil pengujian melalui mesin uji tarik untuk material *butt joint* dan *lap joint* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Teknis Akhir Material Uji Tarik

Spesifikasi Teknis	Butt Joint			Lap Joint		
	Tr-1.1	Tr-1.2	Tr-1.3	Tr-2.1	Tr-2.2	Tr-2.3
1. Panjang Akhir (L ₁) – mm	323	325	319	238	238	237
2. Lebar Akhir (b ₁) – mm	18,00	17,50	17,80	9,00	9,30	10,20
3. Tebal Akhir (t ₁) – mm	7,80	7,00	7,5	7,50	7,70	7,00
4. Beban Tarik Luluh (F _y) – N	87.000	85.000	88.000	41.000	38.000	41.000
5. Beban Tarik Akhir (F _U) – N	126.000	123.200	128.000	58.000	55.000	58.000
6. Luas Penampang Akhir (S ₁) – mm ²	140,40	122,50	133,50	67,50	71,61	71,40

Tabel 6 menunjukkan karakteristik mekanikal material uji ASTM A36 dengan tebal pelat 10 mm dan sambungan las *butt joint* memiliki tegangan tarik luluh 283,33 hingga 293,33 N/mm², tegangan tarik akhir 410,66 hingga 426,66

N/mm², reduksi luas penampang 46 hingga 53%, regangan 6 hingga 8%, dan modulus elastisitas 60 hingga 71,11 N/mm². Sedangkan untuk sambungan las *lap joint* memiliki tegangan tarik luluh 190 hingga 205 N/mm², tegangan tarik akhir 275 hingga 290 N/mm², reduksi luas penampang 42 hingga 46%, regangan 18 hingga 19%, dan modulus elastisitas 14,47 hingga 15,27 N/mm².

Tabel 6. Karakteristik Mekanikal pada Material Uji Tarik

Karakteristik Mekanikal	Butt Joint			Lap Joint		
	Tr-1.1	Tr-1.2	Tr-1.3	Tr-2.1	Tr-2.2	Tr-2.3
1. Tegangan Tarik Luluh (σ_y) – N/mm ²	290,00	283,33	293,33	205,00	190,00	205,00
2. Tegangan Tarik Akhir (σ_U) – N/mm ²	420,00	410,66	426,66	290,00	275,00	290,00
3. Reduksi Luas Penampang Akhir (Z) – %	46	53	49	46	42	42
4. Regangan (ϵ) – %	7	8	6	19	19	18
5. Modulus Elastisitas (E) – N/mm ²	60,00	51,33	71,11	15,26	14,47	15,27 (12)

Berdasarkan *Standard Specification for Carbon Structural Steel* (ASTM A36, 1988) menunjukkan karakteristik mekanikal material uji dengan sambungan las *butt joint* terkait kekuatan tarik akhir (standar uji 400 hingga 500 N/mm²) dan kekuatan luluh (standar uji minimum 250 N/mm²) telah memenuhi standar yang telah ditetapkan.

Analisis Statistik

Material uji dengan tebal pelat 10 mm dan sambungan las *butt joint* memiliki nilai rata-rata tegangan tarik luluh 288,89 N/mm², tegangan tarik maksimal 419,11 N/mm², reduksi luas penampang 49,33%, regangan 7%, dan modulus elastisitas 60,81 N/mm². Sedangkan kelima nilai *Skewness* berada pada rentangan -2 hingga +2 yang memberikan indikasi hasil data eksperimen termasuk dalam kategori data normal dan statistik parametrik (Illowsky dan Dean, 2018). Hasil penelitian sebelumnya (Mawahib *et al.*, 2017; Nugroho dan Setiawan, 2018; Azdkar *et al.*, 2018; Dikwan *et al.*, 2019; Ma'arif, 2020; Manurung *et al.*, 2021; Manulu *et al.*, 2022) pada material uji dengan standar ASTM A36 dengan pengelasan SMAW tipe *butt joint* memiliki nilai rata-rata tegangan tarik akhir telah memenuhi standar yang ditetapkan dengan nilai uji 400 hingga 500 N/mm².

Tabel 7. Statistik Diskripsi untuk Material Uji Tarik Sambungan *Butt Joint*

Parameter	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Z (%)	ϵ (%)	E (N/mm ²)
Rata-rata	288,89	419,11	49,33	7,00	60,81
Standar Deviasi	5,09	8,04	3,51	1,00	9,92
Skewness	-0,94	-0,49	0,42	0	0,37

Tabel 8. Statistik Diskripsi untuk Material Uji Tarik Sambungan *Lap Joint*

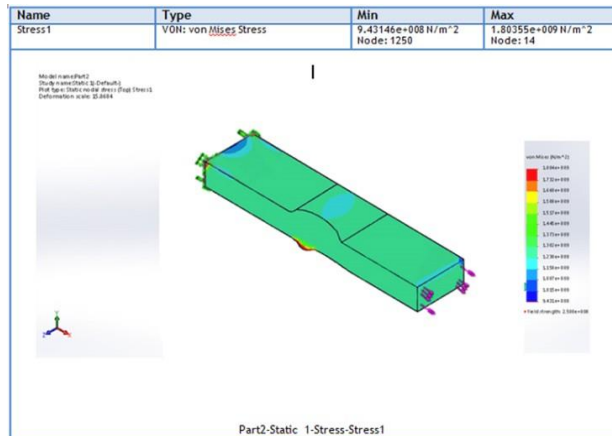
Parameter	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	Z (%)	ϵ (%)	E (N/mm ²)
Rata-rata	200,00	280,00	43,33	18,67	15,00
Standar Deviasi	8,66	8,66	2,31	0,58	0,46
Skewness	-1,73	1,73	1,73	-1,73	-1,73

Tabel 8 menunjukkan material uji dengan tebal pelat 10 mm dan sambungan las *lap joint* memiliki nilai rata-rata tegangan tarik luluh 200 N/mm², tegangan tarik akhir 280 N/mm², reduksi luas penampang 43,67%, regangan 18,67%, dan modulus elastisitas 15 N/mm². Hasil ini tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh *Standard Specification for Carbon Structural Steel* (ASTM A36, 1988). Sedangkan untuk kelima nilai Skewness pada Tabel 8 berada pada rentangan -2 hingga +2 yang memberikan indikasi hasil data eksperimen termasuk dalam kategori data normal dan statistik parametrik (Illowsky dan Dean, 2018). Berdasarkan hasil kriteria pada titik 1) dan titik 2) di atas menunjukkan adanya indikasi signifikansi perbedaan uji tarik antara sambungan las tipe *butt joint* dan *lap joint* yang ditinjau dari hasil kekuatan tarik luluh dan kekuatan tarik akhir (*One Way Anova*, $p < 0.05$).

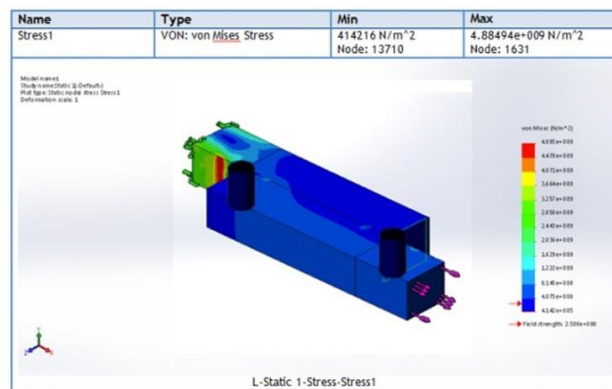
Pemodelan dan Simulasi SolidWorks

Pemodelan dan simulasi pada material uji tarik untuk *butt joint* dan *lap joint* menggunakan aplikasi SolidWorks terkait *stress* dan *strain*. Gambar 6 menunjukkan secara visualisasi simulasi tegangan pada sambungan las *butt joint* terjadi konsentrasi di area pengelasan. Besaran tegangan di area mahkota las (*weld face*) mencapai $1,235 \times 10^9$ N/m² (1.235 N/mm²) dan akar las (*root*) mencapai $1,803 \times 10^9$ N/m² (1.803 N/mm²). Sedangkan Gambar 8 menunjukkan secara visualisasi simulasi tegangan pada sambungan las *lap joint* terjadi konsentrasi di area *toe* (batas dari daerah permukaan las dengan logam induk) dan HAZ. Besaran tegangan di area *toe* mencapai 2,443

$\times 10^9$ N/m² (2.443 N/mm²) dan HAZ mencapai $4,884 \times 10^9$ N/m² (4.884 N/mm²).



Gambar 7. Simulasi Tegangan pada Material Uji Tarik *Butt Joint*



Gambar 8. Simulasi Tegangan Material Uji Tarik *Lap Joint*

Tabel 7. Perbedaan Hasil Eksperimen dan Simulasi Uji Tarik *Butt Joint*

Spesifikasi Teknis	Butt Joint (N/mm ²)		
	Tr-1.1	Tr-1.2	Tr-1.3
Uji tarik: Tegangan Tarik Luluh (σ_{yS})	290	283,33	293,33
SolidWorks: Tegangan von Mises (σ_{vM}) pada Mahkota Las	1.235		
SolidWorks: Tegangan von Mises (σ_{vM}) pada Akas Las	1.803		
Selisih Tegangan ($\sigma_{yS} - \sigma_{vM}$) pada Mahkota Las	945	951,67	941,67
Selisih Tegangan ($\sigma_{yS} - \sigma_{vM}$) pada Akar Las	1.513	1.519,67	1.509,67

Tabel 8. Perbedaan Hasil Eksperimen dan Simulasi Uji Tarik *Lap Joint*

Spesifikasi Teknis	Lap Joint (N/mm ²)		
	Tr-2.1	Tr-2.2	Tr-2.3
Uji tarik: Tegangan Tarik Luluh (σ_{yS})	205	190	205

Spesifikasi Teknis	Lap Joint (N/mm ²)		
	Tr-2.1	Tr-2.2	Tr-2.3
SolidWorks: Tegangan von Mises (σ_{VM}) pada Toe	1.235		
SolidWorks: Tegangan von Mises (σ_{VM}) pada HAZ	4.88		
Selisih Tegangan ($\sigma_{YS} - \sigma_{VM}$) pada Toe	1.030	1.045	1.030
Selisih Tegangan ($\sigma_{YS} - \sigma_{VM}$) pada HAZ	4.679	4.694	4.679

Perbedaan antara hasil eksperimen melalui mesin uji tarik dan hasil simulasi uji tarik melalui *SolidWorks* ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8. Tabel 7 menunjukkan $\sigma_{von\ Mises} > \sigma_{luluh}$ pada sambungan las *butt joint*. memberikan indikasi adanya deformasi plastis di area akar las kemudian di susul ke area mahkota las dan akhirnya terjadi putus di material uji. Tabel 12 menunjukkan $\sigma_{von\ Mises} > \sigma_{luluh}$ pada sambungan las *lap joint* memberikan indikasi adanya deformasi plastis di area HAZ kemudian di susul ke area toe dan akhirnya terjadi putus di material uji.

Hasil akhir dari kegiatan penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan SMAW dengan tipe *butt joint* memiliki nilai kekuatan yang lebih tinggi dari tipe *lap joint*. Hasil ini sejalan dengan penelitian dari Azwinur et al (2018) yang menyebutkan juga bahwa kekuatan uji tarik untuk sambungan las tipe *butt joint* lebih tinggi dari tipe *lap joint*. Sedangkan untuk kekuatan uji tarik pada material ASTM A36 dengan tebal pelat 10 mm dan sambungan *butt joint* memiliki kekuatan luluh 283,33 hingga 293,33 N/mm², dan kekuatan tegangan tarik akhir 410,66 hingga 426,66 N/mm². Hasil ini juga sejalan dengan penelitian dari Mawahib et al (2017) menunjukkan kekuatan luluh 292,23 hingga 309,60 N/mm², dan penelitian dari Nugroho dan Setiawan (2018) menunjukkan kekuatan tarik akhir 369,69 hingga 467,78 N/mm². Keterkaitan ini menunjukkan karakteristik mekanikal material uji dengan sambungan las *butt joint* telah memenuhi *Standard Specification for Carbon Structural Steel* (ASTM A36, 1988). Di sisi yang lain untuk hasil visualisasi simulasi tegangan pada sambungan las *butt joint* terjadi konsentrasi tegangan di area mahkota las mencapai 1.235 N/mm², dan akar las mencapai 1.803 N/mm², dimana kedua nilai ini menunjukkan adanya indikasi patahan material di area pengelasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa hasil eksperimen dan simulasi uji tarik dari penelitian ini dapat

disimpulkan bahwa ada perbedaan signifikansi terkait pengelasan SMAW pada konstruksi kapal dengan sambunganlas *butt joint* yang memiliki nilai kekuatan lebih baik daripada sambungan las *lap joint*. Hasil karakteristik mekanikal dari uji tarik untuk sambungan las *butt joint* dan *lap joint* secara rata-rata, terdiri dari (1) kekuatan luluh 288,89 dan 200 N/mm², (2) kekuatan akhir 419,11 dan 280 N/mm², (3) reduksi luas penampang 49,33 dan 43,33%, (4) regangan 7 dan 18,67%, dan (5) modulus elastisitas 60,81 dan 15 N/mm². Hasil perbedaan tegangan hasil eksperimen dan simulasi uji tarik untuk sambungan las *butt joint* dan *lap joint* memberikan indikasi adanya deformasi plastis di area mahkota las, akar las, toe, dan HAZ. Nilai perbedaan eksperimen dan simulasi untuk *butt joint* berkisar 941,67 hingga 1.519,67 N/mm², dan *lap joint* berkisar 1.030 hingga 4.6942 N/mm².

DAFTAR PUSTAKA

- ASME (2021). *Qualificaton Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operator*. The American Society of Mechanical Engineers, USA.
- ASTM A36 (1998). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. American Society for Testing and Materials, USA.
- ASTM E290 (2022). *Standard Test Method for Bend Testing of Material for Ductility*. American Society for Testing and Materials, USA.
- AWS (2022). *Structural Welding Code – Steel*. Amecan Welding Society, USA.
- Azdkar, M.S., Pratikno, H. dan Titah, H.S. (2018). Analisis Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Elektrode Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Biokorosi di Lingkungan Laut. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), 180-185.
- Azwinur, Syukuran, dan Hamdani (2018). Kaji Sifat Mekanik Sambungan Las *Butt Weld* dan *Double Lap Joint* pada Material Baja Karbon Rendah. *Sintek Jurnal*, 12(1), 9-16.
- Bhandari, V.B. (2010). *Design of Machine Elements*. Third Edition, McGraw Hill Companies
- BKI Part 1 – Vol. 2 (2022). *Part 1 Seagoing Ships: Volume II Rules for Hull*. Biro Klasifikasi Indonesia.

- Dikwan, M., Jokosisworo, S. dan Zakki, A.F. (2019). Pengaruh Normalizing Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi pada Sambungan Las Baja A36 Akibat Pengelasan SMAW dengan Variasi Waktu Pemanasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4), 440-448.
- Feriansyah, A. (2020). Pengaruh Proses Pengelasan pada Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 5(2), 58-68.
- Illowsky, B. and Dean, S. (2018). *Introductory Statistics*. OpenStax™, Rice University, USA.
- Manalu, S.L.P., Budiarto, U. dan Jokosisworo, S. (2022). Analisa Hasil Pengelasan Bawah Air Baja A36 dengan Elektroda Air AWS E7018. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(3), 32-40.
- Manurung, R.D.N., Budiarto, U. dan Yudo, H. (2021). Analisa Kekuatan Tarik dan Impak Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Polaritas dan Besar Arus Pengelasan. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(4), 360-368.
- Ma'arif, S. (2020). Analisis Distribusi Tegangan pada Sambungan Las Dissimilar antara ASTM A36 Steel dan AISI 304 dengan SolidWorks. *SERINA UNTAR*, pp. 307-316.
- Mawahib, M.Z., Jokosisworo, S. dan Yudo H. (2017). Pengujian Tarik dan Impak pada Pengejaan Pengelasan SMAW dengan MesinGenset Menggunakan Diameter Elektrode yang Berbeda. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 14(1), 26-32.
- Mohruni, A.S., & Kembaren, B.H. (2013). Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah dengan Elektrode E6013. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 1-8.
- Muhsin, Z., Suardy, & Suryadi. (2018). Analisa Perbandingan Kualitas Las SMAW Kampuh V dengan Uji Bending pada Baja ST 37. *Teknologi*, 19(1), 45-55.
- Nasution, A.R. and Widodo, E. (2022). Numerical Analysis of Low Carbon Steel Tensile Strength Using Software (SolidWorks). *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 7(1), 1-6.
- Nugroho, A. dan Setiawan, E. (2018). Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Plate Carbon Steel ASTM 36. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 3(2), 134-142.
- Priyantoro, F., Santosa, B., dan Supomo, H. (2012). Analisa Pengaruh Luasan Scratch Permukaan terhadap Laju Korosi pada Pelat Baja A36 dengan Variasi Sistem Pengelasan. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 20-24.
- Raharjo, H.S. dan Rubijanto, JP. (2012). Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las Shielding Metal Arc Welding (SMAW). *Simposium Nasional RAPI XI*, FT UMS, 93-97.
- Tanjung, I., Affandi, dan Nasution, A.R. (2022). Analisa Numerik Kekuatan Tarik Plat Baja Karbon Rendah yang Disambung dengan Pengelasan Menggunakan Software SolidWorks. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 7(1), 7-14.
- Ugural, A.C. and Fenster, S.K. (2020). *Advanced Mechanics of Materials and Applied Elasticity*. Sixth Edition, Pearson Education, Inc., USA.