



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Variasi Bentuk Kampuh Dengan Proses *Post Weld Heat Treatment Annealing* Pengelasan SMAW Baja SS400 Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak

Joanne Valen Kipuw¹⁾, Ari Wibawa Santoso²⁾, Hartono Yudo³⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail :joannevalen03.jvk@gmail.com

Abstrak

Baja SS 400 merupakan material struktural yang termasuk baja karbon rendah yang umum dijadikan bahan pembuatan konstruksi terutama pada industri perkapalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari bentuk kampuh berupa single V-Groove dan double V-Groove 65° pengelasan SMAW posisi 1G (Down Hand) yang diberikan perlakuan panas berupa *Post Weld Heat Treatment (PWHT) Annealing* terhadap sifat mekanis baja SS 400. Pengujian tarik dan impak mengacu pada standar ASTM E8 dan ASTM E23. Hasil penelitian menunjukkan bahwa double V-Groove dengan PWHT memiliki nilai tegangan tarik 400,48 MPa, nilai regangan tarik 17,5%, nilai modulus elastisitas 26,04 GPa dengan harga impak 0,92 J/mm² sedangkan double V-Groove tanpa PWHT memiliki nilai tegangan tarik 406,12 MPa, nilai regangan tarik 15,5%, nilai modulus elastisitas 27,1 GPa dengan harga impak 0,76 J/mm². Single V-Groove dengan PWHT memiliki nilai tegangan tarik 347,26 MPa, nilai regangan tarik 8%, nilai modulus elastisitas 57,9 GPa dengan harga impak 1,02 J/mm² sedangkan single V-Groove tanpa PWHT memiliki nilai tegangan tarik 370,10 MPa, nilai regangan tarik 4,5%, nilai modulus elastisitas 84,08 GPa dengan harga impak 0,95 J/mm². Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Double V-Groove tanpa PWHT memperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi sedangkan Single V-Groove dengan PWHT memperoleh harga impak tertinggi.

Kata Kunci : Baja SS 400, SMAW, Kampuh Las, Kekuatan Tarik dan Impak

1. PENDAHULUAN

Saat ini, baja menjadi salah satu logam yang sering diaplikasikan dalam industri manufaktur, konstruksi serta perkapalan. Baja SS400 merupakan salah satu material struktural yang dimana termasuk baja karbon rendah dengan komposisi kimianya meliputi Carbon (C), Manganese (Mn), Silicon (Si), Sulfur (S) dan Phosphorus (P) [1]. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) umum digunakan dalam pembuatan konstruksi yang memerlukan sifat ulet dan tangguh yang tinggi. Dengan kandungan karbon sebesar 0.15%-0.30%, baja ini memiliki kekuatan tarik tinggi, tahan deformasi, dan mampu menahan beban statis serta dinamis di laut [2]. Pada industri perkapalan, baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) umum dijadikan bahan pembuatan konstruksi

kapal seperti lambung kapal, plat kapal dan tangki minyak [3].

Pengelasan memegang peranan penting dalam pembuatan konstruksi yang dapat didefinisikan sebagai proses penyambungan dua bahan logam yang melibatkan energi panas untuk melelehkan bahan yang dilas. Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dapat diartikan suatu metode dengan busur nyala logam terlindung yang menggunakan api busur listrik untuk meleburkan logam. Proses ini menggunakan elektroda sekali pakai yang digerakkan menuju permukaan benda kerja, sehingga tercipta busur listrik yang menghasilkan energi panas. Panas yang dihasilkan berfungsi untuk mencairkan elektroda sekaligus logam dasar, sehingga memungkinkan terjadinya pengikatan material melalui proses peleburan. [4], [5]

Pada proses pengelasan dapat terjadi pemanasan yang tidak merata yang akan menyebabkan perubahan struktur sehingga kekuatan dan kekerasan dari hasil pengelasan kurang maksimal. Permasalahan struktural dan sifat mekanis yang terjadi akibat proses pengelasan tersebut dapat diatasi dengan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Proses ini diaplikasikan untuk menurunkan tegangan residual, meningkatkan ketahanan korosi, dan memperbaiki sifat mekanis logam [6], [7].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa variasi bentuk dan sudut kampuh, seperti kampuh V, X, dan K, secara signifikan memengaruhi distribusi panas, ukuran daerah terpengaruh panas (HAZ), serta hasil kekuatan tarik. Didapatkan bahwa bentuk kampuh tipe V menunjukkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik tertinggi dibanding bentuk kampuh lainnya serta terdapat perbedaan struktur mikro pada setiap variasi bentuk kampuh [8]. Hasil penelitian lainnya yang meneliti mengenai perbandingan nilai kekuatan tarik dan *bending* pada baja SS 400 pengelasan SMAW akibat variasi bentuk *groove* menunjukkan bahwa bentuk kampuh memiliki pengaruh secara signifikan pada nilai kekuatan tarik suatu material. Bentuk *double V-Groove* memperoleh nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 537,06 MPa dibanding bentuk kampuh *single V-Groove* [9]. Temuan lainnya yang membahas mengenai pengaruh dari perlakuan panas berupa *normalizing* terhadap kekuatan impak aluminium 6061 dengan metode pengelasan MIG pada berbagai posisi pengelasan dan bentuk kampuh menunjukkan bahwa material yang menerima perlakuan panas baik melalui proses pengelasan maupun tanpa pengelasan (*raw material*), terbukti dapat mengalami peningkatan nilai impak material tersebut [10].

Penelitian sebelumnya memberikan landasan yang kuat untuk melihat perbandingan dan mengetahui pengaruh variasi bentuk kampuh hasil pengelasan SMAW dengan memberikan perlakuan panas pasca pengelasan berupa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *Annealing* terhadap sifat mekanik baja SS400, khususnya kekuatan tarik dan ketangguhan impak serta membandingkannya dengan hasil penelitian sebelumnya yang hanya memvariasikan bentuk kampuh tanpa perlakuan PWHT.

2. METODE

2.1. Pengumpulan Data

Penelitian tugas akhir dilakukan dengan metode eksperimen yang dimulai dengan mengumpulkan data, persiapan material, pemotongan plat, proses pembuatan kampuh,

proses pengelasan, proses pembuatan spesimen uji tarik dan impak hingga proses pengujian di Laboratorium. Data-data yang dikumpulkan sebagai referensi untuk penelitian ini yang diperoleh dari referensi buku, jurnal, artikel, dan internet. Objek yang akan diteliti ialah material baja SS400. Material baja SS 400 termasuk jenis baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) yang umumnya diaplikasikan pada industri perkapalan sebagai rangka konstruksi dalam bangunan kapal berupa lambung, kapal, plat kapal dan tangki minyak. Pengumpulan data berupa komposisi material baja SS400 dapat dilihat pada Tabel 1. Pada gambar 1 menunjukkan objek yang akan diteliti yaitu plat baja SS400.

Tabel 1. Komposisi Material Baja SS400 [1]

	Unsur	Kandungan %
C	Carbon	0,25
Fe	Ferrum	98,98
Si	Silicon	0,09
Ni	Nickel	0,030
Cr	Chromium	0,030
S	Sulfur	0,040
Mn	Mangan	0,53
P	Phosporus	0,100

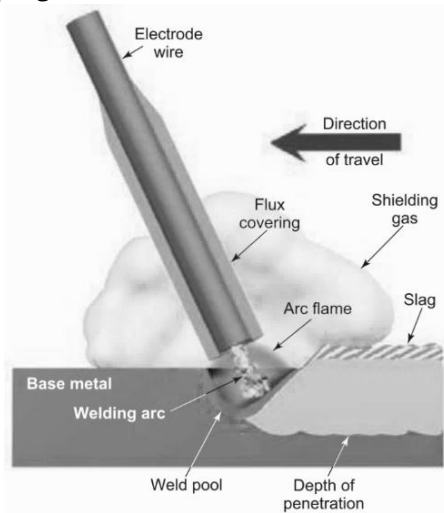


Gambar 1. Plat Baja SS400

Pengelasan merujuk pada suatu proses yang dilakukan untuk menyatukan dua atau lebih, baik yang bersifat logam maupun non logam. Proses ini melibatkan energi panas dari busur listrik, gas atau laser untuk meleburkan sebagian logam induk dan logam pengisi [11], [12].

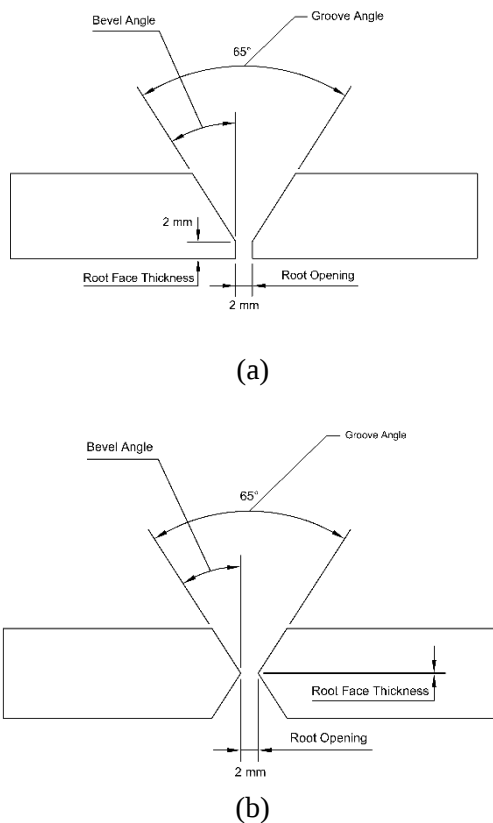
Dalam penelitian ini, teknik pengelasan yang digunakan berupa metode las busur listrik terlindungi, yang lebih dikenal dengan istilah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Metode ini melibatkan busur listrik sebagai sumber panas untuk meleburkan logam, metode ini umum diaplikasikan dalam berbagai kegiatan yang berkaitan dengan konstruksi dan perbaikan kapal.

Selain biayanya yang relatif terjangkau, metode ini memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi karena pengelasan ini dapat diterapkan pada berbagai posisi pengelasan serta beragam jenis gerakan elektroda meliputi gerakan spiral, zig-zag maupun lurus [13]. Pada gambar 2 menunjukkan prinsip kerja pengelasan SMAW.



Gambar 2. Prinsip Kerja Pengelasan SMAW [14]

Sesuai dengan standar *AWS NUMBER 3* metode pengelasan pada penelitian tugas akhir ini dilakukan posisi 1G (*Down Hand*) dengan bentuk kampuh *single V-Groove* dan *double V-Groove* dengan sudut 65° yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. (a) Bentuk kampuh *single V-Groove* 65° , (b) Bentuk kampuh *double V-Groove* 65°

Salah satu proses perlakuan panas yang digunakan berupa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *Annealing* merupakan proses pemanasan yang dilakukan pasca proses pengelasan untuk meningkatkan struktur mikro dan sifat mekanik pada logam hasil las serta menghilangkan tegangannya [15]. Spesimen uji dimasukkan ke dalam tungku *furnace* lalu menaikkan suhu pada temperature tertentu, kemudian setelah mencapai suhu kritisnya material ditahan dengan memberi durasi atau waktu tunggu (*holding time*) tertentu, kemudian material didinginkan secara bertahap dengan cara mematikan tungku (*furnace cooled*) terlebih dahulu hingga mencapai suhu ruangan.

Pengujian tarik termasuk jenis metode uji destruktif yang diterapkan untuk mengukur nilai kekuatan tarik suatu material. Beban gaya tarik diberikan secara bertahap dan kontinu hingga spesimen uji terjadi perpatahan (*fracture*). Perhitungan nilai kekuatan tarik suatu material didapatkan ketika garis gaya berhimpitan dengan garis sumbu bahan, hal ini menyebabkan terjadinya pembebanan tarik secara linear [16]. Dari pengujian ini akan diperoleh kurva tegangan-regangan sehingga dapat menentukan sifat mekanik material [17] dan beberapa parameter sebagai berikut :

1. Tegangan tarik maksimum (σ) dapat diartikan sebagai tingkat tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh suatu material sebelum mengalami perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum didapatkan dari rumus (1) berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan:

σ = Tegangan tarik maksimum (N/mm^2)

P = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

2. Regangan maksimum (e) dapat diketahui dari perpanjangan suatu material sesuai mengalami perpatahan. Nilai ini menunjukkan bahwa material tersebut mampu memanjang sebelum mengalami perpatahan (*fracture*), dan didapatkan dari rumus (2) berikut:

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$e = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

e = Regangan (%)

Li = Panjang sesudah patah (mm)

Lo = Panjang mula-mula (mm)

3. Modulus elastisitas atau modulus young (E) mengacu pada tingkat kekakuan suatu material yang ditunjukkan pada kurva tegangan-regangan, dan nilai ini dapat diketahui dari perhitungan kemiringan suatu garis yang memiliki elastisitas linier, sebagaimana ditunjukkan pada rumus (3) berikut:

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (3)$$

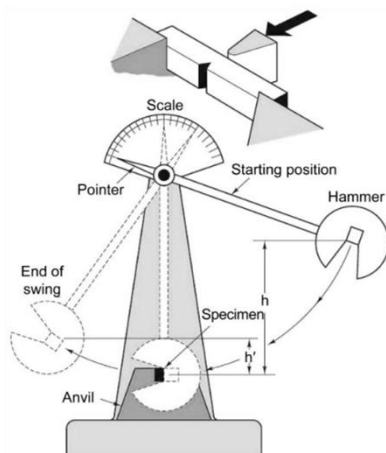
Keterangan:

E = Modulus Elastisitas (GPa)

σ = Tegangan maksimum (MPa)

e = Regangan (%)

Uji impak pada penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan suatu material terhadap beban kejut. Pada gambar 4 menunjukkan skema pengujian impak dengan metode Charpy.



Gambar 4. Skema Pengujian Metode Charpy [18]

Sebelum dilakukan pengujian impak, material harus diberi penandaan atau *marker* pada masing-masing spesimen uji sesuai variasi yang akan dilakukan. Spesimen diletakkan pada dudukan alat sesuai metode Charpy, yaitu spesimen diletakkan di kedua ujungnya secara horizontal dan pendulum menghantam pada sisi berlawanan dari takik. Prinsip kerja pengujian impak didasarkan pada penyerapan energi yang dapat dihasilkan oleh pendulum saat berayun dari ketinggian tertentu dan menghantam spesimen uji hingga terjadinya deformasi. Berdasarkan hasil uji impak akan menghasilkan harga impak yang dapat dihitung pada rumus (4) berikut:

$$HI = \frac{E}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

HI = Harga Impak (J/mm²)

E = Energi yang diserap (J)

A = Luas penampang (mm²)

2.2. Tahap Penelitian

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan penelitian yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Bahan

Material yang digunakan merupakan baja struktural (*structural steel*) yakni SS400 dengan ketebalan 10 mm.

2. Pemotongan Plat

Plat dipotong menjadi empat bagian dengan ukuran dimensi 100 mm x 300 mm x 10 mm untuk spesimen uji tarik dan dua bagian dengan ukuran dimensi 75 mm x 200 mm x 10 mm untuk spesimen uji impak.

3. Pembuatan Kampuh

Bentuk kampuh yang diterapkan pada penelitian ini berupa *single V-Groove* dan *double V-Groove* dengan sudut 65°.

4. Pengelasan Baja

Proses pengelasan material dilakukan sesuai material dibentuk sudut kampuh. Proses pengelasan dan pembuatan spesimen uji dilaksanakan di *Inlastek Welding Institute*, Surakarta Jawa Tengah dengan rincian sebagai berikut:

- Jenis Pengelasan : SMAW
- Posisi Pengelasan : 1G (*down hand*)
- Elektroda : E-6013 (3,2mm)
- Logam Induk : SS 400 (10 mm)

5. Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan spesimen untuk uji tarik mengacu pada standar uji ASTM E8, dengan dimensi 200 mm x 20 mm x 10 mm yang terdiri dari 16 spesimen. Sedangkan proses pembuatan spesimen untuk uji impak mengacu pada standar ASTM E23 dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm sebanyak 16 spesimen.

6. Proses PWHT Annealing

Proses pemanasan material atau lebih dikenal PWHT dengan metode *Annealing* diawali dengan memanaskan material di dalam tungku *furnace* pada temperature 600° dan material dipertahankan pada suhu yang sudah ditentukan dengan waktu tunggu (*holding time*) 60 menit, kemudian dilakukan pendinginan hingga mencapai suhu ruangan. Pada gambar 5 menunjukkan proses PWHT Annealing pada tungku *furnace* dengan temperature 600°.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Tungku Furnace, (b) proses PWHT Annealing

7. Proses Pengujian

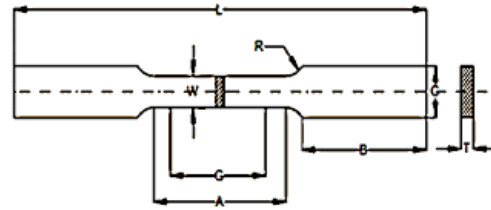
Sebelum dilakukan pengujian tarik, spesimen diberikan penandaan atau *marker* dan melakukan pengukuran dengan *vernier caliper* pada masing-masing spesimen uji sesuai variasi yang akan diteliti untuk menjadi acuan perhitungan uji tarik. Pengujian ini dilakukan dengan sistem penjepit (*grip*) untuk menahan spesimen uji secara aksial pada kedua ujung mesin. Pada daerah las dan HAZ material SS400 akan diuji impak menggunakan metode *Charpy*, yaitu spesimen diletakkan di kedua ujungnya secara horizontal dan pendulum menghantam di tengah pada sisi berlawanan dari takik. Pelaksanaan pengujian tarik dan impak berlokasi di Laboratorium Struktur dan Kontruksi Kapal, Universitas Diponegoro.

2.3. Parameter Penelitian

A. Parameter Tetap

Parameter yang ditetapkan pada penelitian ini meliputi material baja SS 400 sebagai bahan uji, tipe pengelasan yang digunakan yaitu SMAW dengan posisi pengelasan 1G (*Down Hand*), kuat arus 90-100 A, tegangan 20-30 V menggunakan

elektroda jenis E6013 dengan diameter 3,2 mm dan dimensi spesimen uji. Bentuk spesimen pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 6 dengan dimensi spesimen uji tarik yang ditunjukkan pada tabel 2.

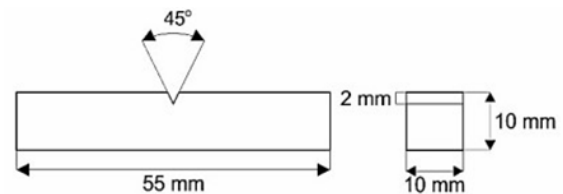


Gambar 6. Bentuk Spesimen Uji Tarik [19]

Tabel 2. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	200 mm
Gage length (G)	50 mm
Width (W)	12,5 mm
Thickness (T)	10 mm
Radius of fillet (R)	12,5 mm
Length of reduced section (A)	57 mm
Width of grip section (C)	20 mm

Sedangkan bentuk spesimen pengujian impak dapat dilihat pada gambar 7 dengan dimensi spesimen uji impak yang ditunjukkan pada tabel 3.



Gambar 7. Bentuk Spesimen Uji Impak [20]

Tabel 3. Dimensi Spesimen Uji Impak

Keterangan	Panjang
Overall length (L)	55 mm
Width (W)	10 mm
Thickness (T)	10 mm
Notched Charpy	45°

B. Parameter Perubahan

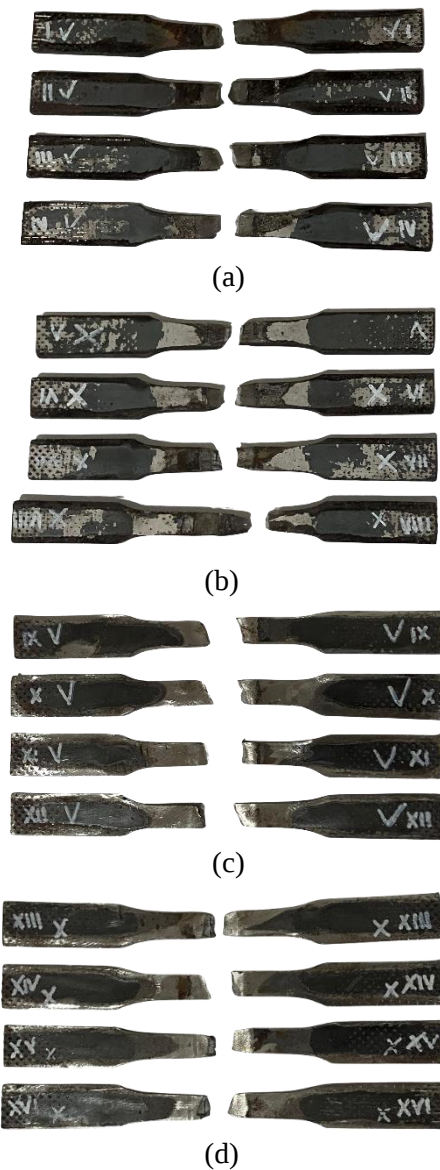
Parameter yang divariasikan pada penelitian ini meliputi variasi jenis kampuh berupa *single V-Groove* dan *double V-Groove*, perlakuan panas pasca pengelasan berupa *Post Weld Heat Treatment (PWHT) Annealing*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian tarik mengacu pada standar uji ASTM E8. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 02 Juli 2025 di Laboratorium Struktur dan Kontruksi Kapal Universitas Diponegoro, Semarang.

Pengujian tarik menghasilkan data pendukung untuk perhitungan nilai tegangan tarik, regangan tarik, dan modulus elastisitas. Pada gambar 8 menunjukkan hasil spesimen uji setelah dilakukan pengujian tarik.



Gambar 8. (a) Kampuh V PWHT, (b) Kampuh X PWHT, (c) Kampuh V Non PWHT, (d) Kampuh X Non PWHT

Spesimen uji dari baja SS 400 dengan variasi bentuk kampuh dan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) yang telah di uji tarik akan diperoleh data meliputi *Yield Strength* (MPa), *Young's Modulus* (GPa), *Ultimate Stregth* (MPa), *Fracture Strain*, dan *Fracture Energy* (kJ/m³), yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Konfigurasi Data Hasil Tegangan Tarik

Spesimen	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Modulus Elastisitas</i> (GPa)	<i>Ultimate Strength</i> (MPa)	Titik Patah/ <i>Fracture Strain</i>	Energi Patah/ <i>Fracture Energy</i> (kJ/m ³)
V PWHT	325.418	202.789	348.013	0.233	44.280
V NonPWHT	326.640	204.935	371.770	0.231	36.143
X PWHT	334.306	205.039	400.723	0.279	87.788
X NonPWHT	337.667	206.165	407.000	0.262	73.473

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4. terlihat adanya variasi nilai parameter mekanik antar spesimen akibat perbedaan konfigurasi kampuh serta perlakuan panas *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) annealing pada baja SS400 hasil pengelasan SMAW. Pada parameter *ultimate strength*, variasi *single V-Groove* dengan PWHT memperoleh rata-rata kekuatan Tarik maksimum sebesar 348,01 MPa sedangkan variasi *single V-Groove* tanpa perlakuan PWHT memperoleh rata-rata kekuatan tarik sebesar 371,77 MPa, diikuti variasi *double V-Groove* dengan perlakuan PWHT rata-rata kekuatan tarik sebesar 400,72 MPa sedangkan rata-rata kekuatan tarik pada variasi *double V-Groove* tanpa perlakuan PWHT meningkat menjadi 407,00 MPa. Bentuk kampuh *double V-Groove* memperoleh nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding *single V-Groove* baik dengan PWHT maupun tanpa PWHT. Hal ini disebabkan karena *double V-Groove* memiliki penetrasi dari kedua sisi yang memberikan kekuatan sambungan las lebih homogen sehingga menghasilkan distribusi panas yang lebih merata. Akibatnya, sambungan dengan *double V-Groove* mampu menahan beban tarik yang lebih besar dibandingkan *single V-Groove*, yang luas penampang sambungannya relatif lebih kecil.

Penurunan *Ultimate Tensile Strength* yang lebih signifikan dibandingkan *yield strength* menunjukkan bahwa PWHT terutama mempengaruhi fase plastis pada kurva tegangan-regangan. Perlakuan panas berupa proses PWHT pada 600°C dapat menurunkan tegangan sisa dan memicu *recovery* dislokasi, sehingga deformasi awal menjadi lebih homogen dan respons luluh tetap relatif stabil. Namun, kapasitas *strain hardening* setelah melewati titik luluh berkurang, sehingga kenaikan tegangan menuju titik maksimum menjadi lebih terbatas dan *Ultimate Tensile Strength* menurun.

Secara keseluruhan, konfigurasi kampuh *double V-Groove* dengan perlakuan PWHT menunjukkan performa mekanik yang lebih baik terutama pada parameter *fracture strain* dan *fracture energy*, yang mengindikasikan peningkatan keuletan serta kemampuan material

dalam menyerap energi sebelum mengalami kegagalan.

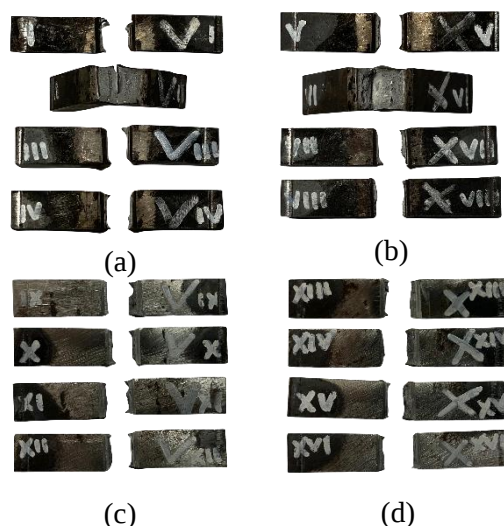
Berdasarkan analisis statistik terhadap data pada Tabel 4, nilai standar deviasi digunakan untuk mengetahui tingkat penyebaran data dan konsistensi hasil pengujian sifat mekanik antar spesimen, yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 5. Rata-rata Standar Deviasi Hasil Data Uji Tarik

	Yield Strength (MPa)	Modulus Elastisitas (GPa)	Ultimate Strength (MPa)	Titik Patah/ Fracture Strain	Energi Patah/ Fracture Energy (kJ/m ³)
V PWHT	2.9	1.9	8.4	0.004	3.8
V Non-PWHT	8.6	3.8	6.7	0.012	8.4
X PWHT	9.6	1.7	9.3	0.005	9.8
X Non-PWHT	9.4	3.2	4.4	0.025	7.5

3.2. Hasil Pengujian Impak

Uji impak mengacu pada standar uji ASTM E23. Hasil dari pengujian impak akan memperoleh nilai ketangguhan suatu material baja SS 400 yang mendapatkan perlakuan panas berupa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan variasi bentuk kampuh. Pada gambar 12 menunjukkan hasil spesimen uji setelah dilakukan pengujian impak.

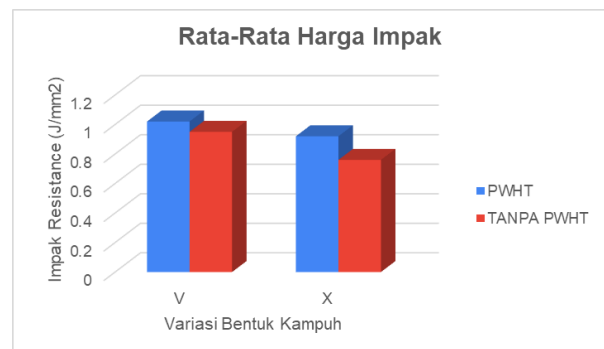


Gambar 9. (a) Kampuh V PWHT, (b) Kampuh X PWHT, (c) Kampuh V Non-PWHT, (d) Kampuh X Non-PWHT

Spesimen uji yang telah di uji impak memperoleh harga impak yang ditunjukkan pada tabel 7 sedangkan gambar 13 menunjukkan grafik rata-rata harga impak.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Impak

No	Spesimen	Luas (mm ²)	Energi Impak (J)	Harga Impak (J/mm ²)	Rata-rata (J/mm ²)
1	V PWHT	113	120	1.06	1.02
2		116	111	0.96	
3		113.5	122	1.07	
4		119.3	116	0.97	
5		116.8	119	1.02	
6	X PWHT	119.7	116	0.97	0.92
7		120.5	116	0.96	
8		113.5	84	0.74	
9		115	110	0.96	
10		113	113	1.00	
11	V NON PWHT	113	100	0.88	0.95
12		115.5	110	0.95	
13		121.4	74	0.61	
14	X NON PWHT	118	95	0.81	0.76
15		116.5	76	0.65	
16		117	116	0.99	



Gambar 10. Grafik Rata-Rata Harga Impak

Hasil pengujian impak menunjukkan nilai dan perbandingan hasil dari setiap variasi yang berbeda pada gambar 8. Didapatkan bahwa material baja SS 400 dengan menggunakan variasi *single V-Groove* dengan perlakuan PWHT memperoleh nilai impak rata-rata sebesar 1.02 J/mm², diikuti variasi *single V-Groove* tanpa perlakuan PWHT sebesar 0,95 J/mm², variasi *double V-Groove* dengan perlakuan PWHT sebesar 0,92 J/mm², kemudian nilai menurun pada variasi *double V-Groove* tanpa perlakuan PWHT sebesar 0,76 J/mm².

Berdasarkan pengujian impak diperoleh variasi *single V-Groove* dengan perlakuan PWHT memiliki harga impak yang maksimal dibanding variasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *single V-Groove* lebih mampu menyerap energi tumbukan dibandingkan variasi *double V-Groove*. Pengaruh PWHT terhadap ketangguhan impak terlihat konsisten meningkatkan nilai harga impak pada kedua variasi kampuh. Dengan demikian, perlakuan PWHT memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketangguhan impak, dimana proses ini mampu mengurangi tegangan sisa, memperhalus butiran, dan meningkatkan homogenitas struktur pada daerah las sehingga spesimen uji menjadi lebih tahan terhadap

pembebanan kejut, meskipun PWHT cenderung menurunkan nilai kekuatan tarik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data yang diperoleh dari pengujian tarik dan pengujian dampak pada material baja SS 400 menggunakan kampuh berupa *single V-Groove* dan *double V-Groove* dengan metode pengelasan SMAW pada posisi pengelasan 1G (*down hand*) dan beberapa spesimen uji mendapatkan perlakuan panas berupa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) *Annealing* yang dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan tarik maksimum pada variasi *double V-Groove* tanpa perlakuan PWHT sebesar 407,00 MPa menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya. Hal ini disebabkan karena *double V-Groove* memiliki penetrasi dari kedua sisi yang memberikan kekuatan sambungan las lebih homogen yang dihasilkan dari distribusi panas lebih merata.

Pengujian dampak menunjukkan kedua variasi dengan perlakuan PWHT memberikan hasil yang lebih baik pada ketangguhan dampak. Ketangguhan *Single V-Groove* dengan perlakuan PWHT sebesar 1.02 J/mm² menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya, karena pemanasan dan pendinginannya yang lebih baik pada variasi dengan perlakuan PWHT. Dengan perlakuan panas, ketangguhannya akan semakin meningkat dan proses *annealing* memberikan pelunakan dan mengurangi kekerasan pada Baja SS400 sehingga pada ketangguhannya lebih tahan terhadap benturan dan tidak mudah untuk terjadinya keretakan.

Dalam pengaplikasian bentuk kampuh tanpa perlakuan panas memperoleh nilai yang lebih tinggi dalam kekuatan tarik, sebaliknya bentuk kampuh dengan perlakuan panas memperoleh nilai ketangguhan dampak yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) *Annealing* terhadap variasi bentuk kampuh akan menghasilkan penurunan kekuatan tarik dan meningkatkan nilai ketangguhan dampak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "JIS G 3101: Rolled Steels For General Structure," 2020.
- [2] W. Suprpto, *Baja dan Aplikasinya*. Universitas Brawijaya Press, 2023.
- [3] H. Petershagen, "Trends in Design and Fabrication of Ship Structures," Springer Netherlands, 1990, pp. 220–235. doi: 10.1007/978-94-009-0433-0_17.
- [4] R. Jha and A. K. Jha, "Investigating the Effect of Welding Current on the Tensile Properties of SMAW Welded Mild Steel Joints," *International journal of engineering research and technology*, vol. 3, no. 4, 2014, [Online]. Available: <https://www.ijert.org/research/investigating-the-effect-of-welding-current-on-the-tensile-properties-of-smaw-welded-mild-steel-joints-IJERTV3IS041403.pdf>
- [5] A. C. Davies, "The Science and Practice of Welding: Manual Metal Arc Welding," Cambridge University Press, 1993, pp. 1–91. doi: 10.1017/CBO9780511526695.002.
- [6] D. Irawan and H. Irawansyah, "Pengaruh PWHT (Post Weld Heat Treatment) pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tekan Baja ST37," *JTAM ROTARY*, 2023, doi: 10.20527/jtam_rotary.v6i1.9340.
- [7] S. T. Suherman and I. Abdullah, *TEKNIK PENGELASAN (CARA MENGHINDARI CACAT LAS)*. UMSU PRESS. [Online]. Available: <http://umsupress.umsu.ac.id/>
- [8] A. N. Kurniawan, S. Suharno, and I. Widiastuti, "THE EFFECT OF VARIATIONS IN THE SHAPE OF THE SEAM ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS AND TENSILE STRENGTH IN THE WELDING PROCESS OF STEEL SS400 WITH THE SMAW METHOD," *Journal of Mechanical Engineering and Vocational Education (JoMEVE)*, vol. 1, no. 2, p. 75, Apr. 2019, doi: 10.20961/jomeve.v1i2.27282.
- [9] S. D. Saputra and N. S. Drastiawati, "Analisis Pengaruh Variasi Groove Pada Pengelasan SMAW Analisis Pengaruh Variasi Groove Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekuatan Bending Baja Karbon SS400," *JTM*, vol. 13, no. 02, 2024.

- [10] R. Wurdhani, U. Budiarto, and W. Amiruddin, "Pengaruh Perlakuan Panas (Heat Treatment) Normalizing Terhadap Kekuatan Impak Aluminium 6061 Pengelasan MIG dengan Variasi Posisi dan Bentuk Kampuh," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 1, p. 70, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [11] M. Vural, "Welding Processes and Technologies," vol. 6, 2014, pp. 3–48. doi: 10.1016/B978-0-08-096532-1.00603-8.
- [12] C. Fortney and M. Gregory, "Introduction to Welding.," 1984, [Online]. Available: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED271557.pdf>
- [13] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Edisi 2. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1995.
- [14] W. A. Bowditch, K. E. Bowditch, and M. A. Bowditch, *Welding Technology Fundamentals*, Fourth Edition. The Goodheart-Willcox Company, Inc. , 2005.
- [15] Y.-R. Kim and J.-W. Kim, "A Study on The Thermal Stress Analysis of Thick Plate Structures in Post Weld Heat Treatment," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 14, no. 2, pp. 247–252, 2013, doi: 10.1007/S12541-013-0034-X.
- [16] F. Budhi Susetyo and S. Hutomo, "Studi Karakteristik Hasil Pengelasan MIG Pada Material Aluminium 5083," *Jurnal Mechanical*, vol. 4, no. 2, 2013.
- [17] I. Arrayago, E. Real, and L. Gardner, "Description of Stress-Strain Curves for Stainless Steel Alloys," *Mater Des*, vol. 87, pp. 540–552, 2015, doi: 10.1016/J.MATDES.2015.08.001.
- [18] J. F. Shackelford, *Introduction to Materials Science for Engineers*, Sixth Edition. Upper Saddle River, NJ.: Prentice-Hall, 2005.
- [19] "ASTM E8/E8M-13a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials Metric," 2004, *ASTM International*. doi: 10.1520/E0008_E0008M-13A.
- [20] "ASTM E23-23a: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials," 2023, *ASTM International*. Accessed: Jul. 24, 2025. [Online]. Available: <https://store.astm.org/e0023-23a.html>