



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengaruh Jenis Sambungan dan Variasi Polaritas Pada Pengelasan SMAW Terhadap Kekuatan Tekuk dan Impak Pada Baja Karbon Rendah ASTM A36

Evan Hastia Parlingoman Pardede¹⁾, Untung Budianto¹⁾, Parlindungan Manik¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : evanpardede1612@gmail.com

Abstrak

Pengelasan merupakan metode penyambungan logam yang banyak digunakan dalam industri perkapalan karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat dan efisien. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis sambungan dan polaritas arus terhadap kekuatan tekuk serta ketangguhan impak pada baja karbon rendah ASTM A36. Pengelasan dilakukan dengan kombinasi polaritas DC+ dan DC- pada tiga jenis sambungan, yaitu square groove, bevel groove, dan V-groove. Pengujian meliputi uji tekuk tiga titik dan uji impak Charpy sesuai standar ASTM E190-14 dan ASTM E23-07a. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bentuk kampuh dan polaritas arus berpengaruh terhadap sifat mekanik sambungan. Nilai kuat tekuk tertinggi diperoleh pada sambungan DC-V sebesar 891,6 MPa, sedangkan nilai ketangguhan impak tertinggi terdapat pada DC+I sebesar 2,35 J/mm². Kombinasi polaritas DC+ dengan sambungan I groove menghasilkan sambungan yang lebih tangguh terhadap beban kejut, sedangkan sambungan V-groove memberikan kekuatan tekuk tertinggi terhadap beban tekuk.

Kata Kunci : SMAW, Polaritas, Bevel groove, Square groove, V-groove

1. PENDAHULUAN

Pengelasan menjadi metode penyambungan utama dalam industri perkapalan karena sifatnya yang permanen, efisien, dan mampu menghasilkan kekuatan struktural tinggi. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah Shielded Metal Arc Welding (SMAW) yang dikenal karena fleksibilitas dan efektivitas biayanya[1]. Material yang sering digunakan dalam konstruksi kapal adalah baja karbon rendah ASTM A36, karena kemudahan pengelasan, kekuatan tarik yang memadai, serta ketahanan terhadap deformasi[2].

Proses pengelasan SMAW menggunakan arus bolak-balik (AC) maupun arus searah (DC) dengan dua jenis polaritas, yaitu Direct Current Electrode Positive (DCEP) dan Direct Current Electrode Negative (DCEN). Polaritas DCEP menghasilkan penetrasi lebih dalam, sedangkan DCEN memberikan kecepatan deposisi lebih tinggi. Menurut *e-Modul Praktik SMAW*, DCEN memberikan hasil las lebih halus namun dengan

penetrasi dangkal, sedangkan DCEP meningkatkan kekuatan sambungan tetapi berisiko overheating.[1]

Jurnal *The International Journal of Engineering and Science* menunjukkan bahwa heat input dan interpass temperature memengaruhi sifat mekanik sambungan las baja 9% Ni. Kekuatan tarik seluruh sambungan las berada di atas 690 MPa, dengan nilai maksimum 814 MPa pada heat input $\pm 1,34$ kJ/mm, sementara heat input yang lebih tinggi menurunkan kekuatan tarik. Seluruh spesimen memenuhi ketangguhan impak ≥ 27 J pada -196°C , lulus uji tekuk, dan memiliki lateral expansion $> 0,38$ mm. Oleh karena itu, heat input rendah ($\pm 1,4$ kJ/mm untuk 6 mm dan $\leq 2,0$ kJ/mm untuk 10–14 mm) dengan interpass temperature 80°C direkomendasikan untuk memperoleh performa sambungan las yang optimal.[3]

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa DCEP pada arus 100 A memberikan kekuatan tarik tertinggi sebesar 48,75 kg/mm², sementara DCEN

pada 140 A menghasilkan kekerasan maksimum 253,7 HVN[4]. Selain itu, variasi polaritas terbukti memengaruhi regangan material hingga 14,52 % [5]. Faktor lain seperti bentuk sambungan (*square*, *bevel*, dan *double V-groove*) juga menentukan distribusi tegangan dan kekuatan struktur [6].

Uji tekuk dan uji impak digunakan untuk menilai kualitas sambungan melalui pengukuran ketahanan terhadap deformasi tekuk dan beban kejut [7]. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, arus 100 A direkomendasikan sebagai parameter optimal untuk pengelasan baja ASTM A36 karena menghasilkan kekuatan tarik rata-rata tertinggi, yaitu 471,46 MPa [8].

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis sambungan dan polaritas arus pada proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) terhadap kekuatan tekuk dan ketangguhan impak baja karbon rendah ASTM A36. Variasi jenis sambungan yang digunakan meliputi *square groove*, *bevel groove*, dan *double V-groove*, sedangkan polaritas arus yang diuji terdiri dari *Direct Current Electrode Positive* (DC+) dan *Direct Current Electrode Negative* (DC-). Pengujian mekanik dilakukan menggunakan metode uji tekuk dan uji impak sesuai standar ASTM untuk memperoleh data kekuatan tekuk dan energi serapan, disertai analisis perbandingan hasil antarvariasi guna menentukan kombinasi parameter pengelasan yang menghasilkan performa sambungan terbaik.

2.1. Pengelasan SMAW

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau pengelasan busur logam terlindung merupakan proses pengelasan manual yang menggunakan elektroda berlapis fluks sebagai bahan habis pakai untuk menghasilkan sambungan logam. Prinsip dasarnya adalah pembentukan busur listrik ketika ujung elektroda didekatkan ke permukaan logam, sehingga panas yang timbul mencairkan elektroda dan logam dasar secara bersamaan[9]. Arus listrik yang digunakan dapat berupa arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC), tergantung pada jenis elektroda dan material yang dilas[10]. Pada penelitian ini, arus yang dipakai merupakan arus searah (DC) dengan arus 160-200 A serta tegangan 24-30 V.

Proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menggunakan elektroda sebagai penghantar arus listrik sekaligus bahan pengisi yang meleleh untuk membentuk sambungan logam. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis E7018, yaitu elektroda low hydrogen yang memiliki lapisan fluks dasar.

Elektroda ini sesuai digunakan pada material baja karbon rendah seperti ASTM A36, karena mampu menghasilkan hasil las dengan penetrasi yang baik, kekuatan mekanik tinggi, serta minim cacat las.

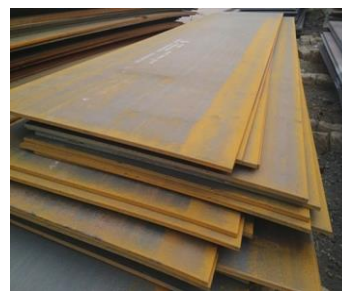
Proses pengelasan SMAW menggunakan mesin las yang umumnya adalah mesin las arus searah memungkinkan pengaturan polaritas DC positif maupun DC negatif. Mesin jenis ini dapat berupa DC rectifier, generator DC, atau inverter DC, dengan fungsi utama mengubah arus listrik AC menjadi DC dan memberikan kestabilan busur selama pengelasan. Mesin las inverter Rilon ARC 200 200A merupakan peralatan yang umum digunakan dalam proses pengelasan baja karbon rendah seperti ASTM A36, karena memiliki efisiensi tinggi, ukuran kompak, dan mendukung pengaturan polaritas DC+ maupun DC- sesuai kebutuhan penelitian.

2.2. Baja ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan baja karbon struktural yang banyak diaplikasikan dalam bidang konstruksi dan manufaktur karena memiliki sifat mekanik yang baik serta mudah difabrikasi. Berdasarkan standar ASTM A36/A36M-08, material ini mengandung karbon maksimal 0,26%, sehingga mudah dibentuk dan dilas[11]. Baja ini memiliki kekuatan luluh minimum sebesar 250 MPa dan kekuatan tarik berkisar antara 400–550 MPa, menjadikannya sesuai untuk berbagai metode pengelasan, termasuk *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Kombinasi kemudahan pengelasan dan kekuatan yang memadai menjadikan ASTM A36 sebagai material pilihan untuk aplikasi struktural seperti rangka baja, jembatan, serta komponen industri. Dengan densitas sekitar 7.800 kg/m³ dan modulus elastisitas sebesar 200 GPa, baja ini memiliki kekakuan tinggi dalam menahan deformasi elastis.

Tabel 1. *Mechanical Properties* Baja ASTM A36 [11]

<i>Tensile Strength</i> (MPa)	Poisson Ratio (ν)	<i>Elongation</i> (%)	Modulus Elastisitas (GPa)
400-550	0,26	20	300



Gambar 1. Baja ASTM A36

2.3. Sambungan Las

Sambungan las memegang peranan penting dalam proses fabrikasi dan manufaktur karena berfungsi menyatukan dua atau lebih komponen logam menjadi struktur yang kuat dan tahan lama. Pemilihan tipe sambungan yang tepat berpengaruh langsung terhadap kekuatan, ketahanan beban, serta efisiensi produksi. Dalam berbagai bidang seperti industri perkapalan, konstruksi, alat berat, dan otomotif, desain serta pemilihan jenis sambungan las menjadi faktor kunci yang menentukan kualitas dan keandalan suatu struktur.

2.3.1 Sambungan Bevel Groove

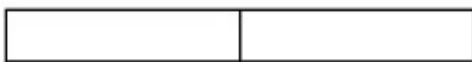
Sambungan alur miring merupakan jenis sambungan las yang umum digunakan pada material tebal karena menghasilkan penetrasi las yang lebih dalam dan merata. Jenis ini memiliki kekuatan dan ketahanan sambungan yang tinggi, namun memerlukan proses persiapan yang lebih kompleks serta biaya produksi yang lebih besar.



Gambar 2. Sketsa Sambungan bevel Groove

2.3.2 Sambungan Square Groove

Sambungan tumpul alur persegi (square groove weld) digunakan untuk menyambung dua logam yang sejajar pada satu bidang dengan potongan tegak lurus tanpa bevel. Jenis sambungan ini sederhana dan mudah diterapkan, sehingga umum dipakai pada material tipis karena tidak memerlukan persiapan kampuh yang rumit. Namun, untuk material tebal, sambungan ini kurang efektif karena menghasilkan penetrasi las yang lebih dangkal dibandingkan tipe V-groove atau U-groove[10].



Gambar 3. Sketsa Sambungan square Groove

2.3.3 Sambungan V-Groove

Sambungan las tipe V-groove merupakan salah satu jenis sambungan yang banyak digunakan karena memberikan penetrasi las yang dalam dan merata. Jenis ini umumnya diterapkan pada material tebal untuk memperoleh kekuatan sambungan yang lebih tinggi dibandingkan alur persegi. Meskipun menghasilkan sambungan yang

kuat dan tahan lama, pembuatan alur berbentuk V memerlukan persiapan lebih rumit serta biaya pengerjaan yang lebih tinggi.



Gambar 4. Sketsa sambungan V-groove

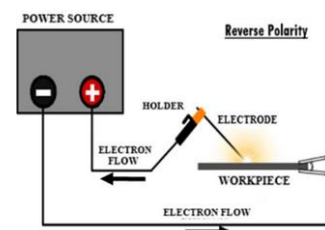
2.4. Polaritas

Polaritas pada proses pengelasan menggambarkan arah aliran arus listrik antara elektroda dan logam dasar selama penyambungan berlangsung. Pada metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), digunakan dua jenis arus utama, yaitu arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) dan arus searah (*Direct Current/DC*). Dalam pengelasan dengan arus searah, dikenal dua tipe polaritas yang umum, yakni DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) dan DCEP (*Direct Current Electrode Positive*).

2.4.1 DCEP (Polaritas Terbalik)

Pada DCEP, elektroda menjadi kutub positif dan benda kerja bertindak sebagai kutub negatif. Sebagian besar panas akan terkonsentrasi di elektroda, yang meningkatkan transfer logam dan membantu membersihkan oksida pada permukaan benda kerja. DCEP menghasilkan penetrasi yang lebih dalam sehingga menjadikannya lebih cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural yang lebih tinggi[12].

Pada polaritas DCEP, elektroda dihubungkan ke kutub positif dan benda kerja ke kutub negatif, sehingga sekitar 70% panas terkonsentrasi pada benda kerja. Kondisi ini menghasilkan penetrasi yang lebih dalam, pembersihan oksida lebih baik, dan sambungan yang lebih kuat. Menurut Penelitian sebelumnya, pengelasan baja ASTM A36 dengan elektroda E7018 menunjukkan bahwa DCEP memberikan kedalaman penetrasi lebih besar dibandingkan DCEN pada rentang arus 90–130 A.[13]



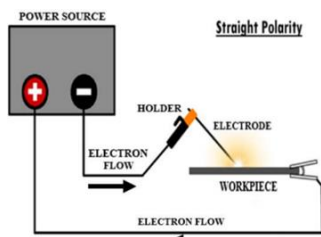
Gambar 5. Diagram Polartias Terbalik (DCEP)

2.4.2 DCEN (Polaritas Lurus)

Dalam konfigurasi ini, elektroda bertindak sebagai kutub negatif, sementara benda kerja menjadi kutub positif. Akibatnya, panas lebih

banyak terserap oleh benda kerja, menghasilkan penetrasi yang lebih dalam. DCEN menawarkan laju deposisi yang lebih cepat dan distorsi yang lebih rendah sehingga lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan efisiensi produksi yang tinggi atau material yang panas[12].

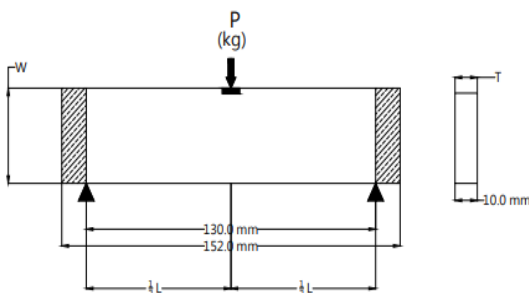
Pada polaritas DCEN panas lebih banyak terakumulasi pada elektroda, sehingga menghasilkan penetrasi dangkal namun lelehan logam las lebih lebar dan halus. Penelitian oleh Ramdani (2023) pada material yang sama menggunakan elektroda E6013 menunjukkan bahwa DCEN menghasilkan permukaan las yang lebih rata namun kedalaman penetrasi lebih rendah dibandingkan DCEP pada arus yang sama[14].



Gambar 6. Diagram Polaritas Lurus (DCEN)

2.5. Uji Tekuk

Uji tekuk merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk menilai keuletan serta kualitas fusi pada sambungan las. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban lentur pada spesimen hingga mencapai sudut tertentu, sehingga dapat diketahui ketahanan material terhadap retak maupun cacat lainnya.



Gambar 7. Sketsa Uji Tekuk

Dimana P adalah beban dalam satuan *newton* (N), L adalah jarak tumpuan dalam satuan milimeter (mm), W adalah lebar dalam satuan milimeter (mm), dan T adalah tebal dalam satuan milimeter (mm).

2.5.1. Tegangan Maksimum (σ)

Tegangan maksimum merupakan parameter yang menggambarkan kemampuan material dalam

menahan momen lentur sebelum mengalami kerusakan atau deformasi plastis yang signifikan. Dalam penelitian ini, nilai tegangan maksimum dihitung menggunakan persamaan momen lentur maksimum pada pengujian tekuk, yaitu:

$$\sigma b = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Dimana σb adalah kekuatan tekuk dalam satuan megapascal (MPa), P adalah beban maksimum dalam satuan newton (N), L adalah jarak tumpuan dalam satuan milimeter (mm), b adalah lebar spesimen dalam satuan milimeter (mm), dan d adalah tebal spesimen dalam satuan milimeter (mm).

2.5.2. Flexural Modulus (MOE)

Flexural modulus atau modulus elastisitas lentur merupakan parameter mekanik yang menggambarkan tingkat kekakuan material saat menerima pembebanan tekuk. Nilai ini diperoleh dari hubungan linier antara tegangan lentur dan regangan lentur pada daerah elastis dari kurva hasil uji bending. Dalam penelitian ini, nilai *flexural modulus* dapat dihitung dengan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

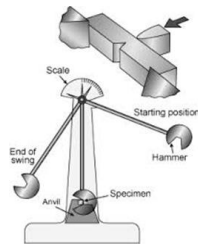
Dimana E adalah *flexural modulus* dalam satuan megapascal (MPa), σ adalah tegangan maksimum dalam satuan megapascal (MPa), dan ε adalah regangan yang dihitung dengan rumus :

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2}$$

Dimana δ adalah defleksi di tengah dalam satuan milimeter (mm), h adalah tebal spesimen dalam satuan milimeter (mm), dan L adalah jarak tumpuan dalam satuan milimeter (mm).

2.6. Uji Impak

Uji impak adalah metode pengujian mekanik yang digunakan untuk menilai ketangguhan material terhadap benturan atau beban kejut dalam kondisi tertentu. Pada uji impak, spesimen uji diberi beban dengan cara dijatuhkan atau dihantam oleh pendulum, dan energi yang diserap sebelum spesimen patah diukur



Gambar 8. Sketsa Uji Impak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Tekuk

Pengujian tekuk pada baja ASTM A36 ini dilakukan berdasarkan standar ASTM E190-14 dengan menggunakan dua jenis polaritas yaitu DC+ (DCEP) dan DC- (DCEN) dan tiga jenis sambungan las yaitu sambungan *bevel groove*, *saquare groove*, dan *V-groove*.

Spesimen dipotong sesuai ukuran standar dan diklasifikasikan menjadi face bend dan root bend berdasarkan posisi daerah las terhadap sisi tarik. Spesimen kemudian ditempatkan pada mesin uji bending tipe *guided bend* yang dilengkapi batang pembengkok serta dua penumpu. Diameter batang pembengkok dan jarak antar penumpu disesuaikan dengan ketebalan spesimen sebagaimana ditetapkan dalam ASTM E190. Pembebanan dilakukan perlahan hingga spesimen tertekuk mendekati 180° atau hingga tampak kerusakan pada permukaan tarik.[15]



Gambar 9. Spesimen Sebelum Pengujian Tekuk



Gambar 10. Proses Pengujian Tekuk

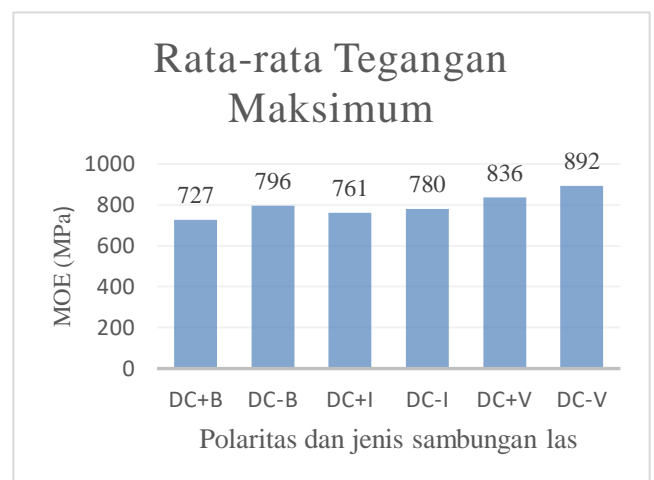


Gambar 11. Spesimen Setelah Uji Tekuk

3.1.1. Tegangan (σ)

Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan Maksimum

Variasi	No	L (mm)	B (mm)	d (mm)	σ (MPa)	σ Rata-rata (MPa)
DC+ B	1	152	39,28	10	733	727
	2	152	39,28	10	721	
	3	152	39,28	10	727	
DC- B	1	152	38,28	10	792	796
	2	152	39,28	10	787	
	3	152	38,28	10	808	
DC+ I	1	152	38,28	10	750	761
	2	152	39,28	10	767	
	3	152	38,28	10	750	
DC-I	1	152	38,28	10	787	780
	2	152	39,28	10	777	
	3	152	38,28	10	791	
DC+ V	1	152	38,28	10	845	836
	2	152	39,28	10	845	
	3	152	38,28	10	854	
DC- V	1	152	38,28	10	884	892
	2	152	39,28	10	895	
	3	152	38,28	10	896	



Gambar 12. Gambar Diagram Uji Tekuk

Berdasarkan hasil uji tekuk yang ditampilkan dalam diagram, dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekuk baja ASTM A36 dapat dipengaruhi oleh jenis polaritas yang digunakan serta jenis sambungan yang dipakai. Hasil tertinggi diperoleh pada penggunaan polaritas DC- dengan jenis sambungan *V-groove* yaitu sebesar 892 MPa, yang menunjukkan peningkatan signifikan terhadap ketahanan tekuk. Sebaliknya, nilai terendah diperoleh pada polaritas DC+ dengan jenis sambungan *bevel groove*, yaitu sebesar 727 MPa, sehingga sambungan cenderung lebih lemah.

Kombinasi polaritas DC- dengan jenis sambungan *V-groove* menghasilkan nilai tekuk

tertinggi karena DC⁻ menghasilkan distribusi panas yang rendah ke *base metal* sehingga HAZ terbentuk lebih sempit dan mikrostruktur ferrite-pearlite tetap plastis dan memiliki kelenturan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan temuan Nurrohkeyati (2023) yang menyatakan bahwa DCEN memberikan sifat deformasi yang lebih baik pada daerah HAZ.

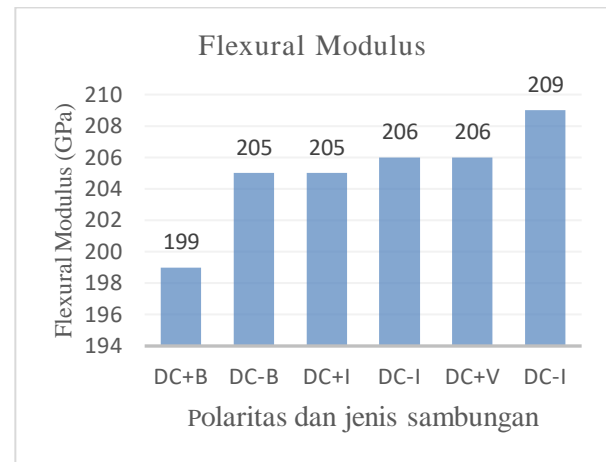
Selain itu, bentuk kampuh *V-groove* memungkinkan fusi yang lebih merata, sehingga risiko cacat fusi dapat diminimalkan. Penelitian Ariyanto (2025) serta Permadi (2024) juga menegaskan bahwa *V-groove* menghasilkan kualitas sambungan paling homogen sehingga performa bending umumnya lebih tinggi.[16][17]. Kombinasi keduanya menciptakan kondisi *heat input* yang ideal untuk deformasi lentur, sehingga nilai tekuk menjadi yang tertinggi.

Kombinasi polaritas DC⁺ dan bevel *groove* menghasilkan nilai tekuk terendah karena DC⁺ menyalurkan sebagian besar panas ke logam dasar sehingga memperlebar HAZ. Kondisi ini menurunkan ductility sambungan sebagaimana telah dijelaskan oleh Nurrohkeyati (2023).[18] Pada *bevel groove*, distribusi panas tidak merata sehingga satu sisi kampuh mengalami overheating.

3.1.2. Flexural Modulus (E)

Tabel 3. Hasil pengujian Flexural Modulus

Variasi	No	L (mm)	B (mm)	d (mm)	MOE (GPa)	MOE Rata-rata (GPa)
DC ⁺ B	1	152	39,28	10	194	199
	2	152	39,28	10	200	
	3	152	39,28	10	204	
DC ⁻ B	1	152	38,28	10	206	205
	2	152	39,28	10	204	
	3	152	38,28	10	204	
DC ⁺ I	1	152	38,28	10	205	205
	2	152	39,28	10	205	
	3	152	38,28	10	205	
DC ⁻ I	1	152	38,28	10	208	206
	2	152	39,28	10	202	
	3	152	38,28	10	210	
DC ⁺ V	1	152	38,28	10	205	206
	2	152	39,28	10	203	
	3	152	38,28	10	210	
DC ⁻ V	1	152	38,28	10	208	209
	2	152	39,28	10	208	
	3	152	38,28	10	210	



Gambar 13. Gambar diagram flexural modulus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus flexural yang diperoleh dari setiap variasi pengelasan sangat dipengaruhi oleh kombinasi polaritas arus pengelasan (DC⁺ dan DC⁻) serta jenis sambungan (*V-groove*, *square groove*, *bevel groove*). Nilai modulus flexural pada penelitian ini berada di kisaran 199–210 GPa, dan pola variasinya mencerminkan bagaimana panas, penetrasi, dan homogenitas sambungan menentukan kekakuan lentur material.

Pada variasi DC⁺ dengan *bevel groove* (DC+B), nilai flexural modulus berada pada rentang 194–200 GPa, yang merupakan nilai paling rendah dari seluruh kombinasi. Hasil ini sesuai dengan mekanisme pengelasan SMAW pada polaritas DC⁺ (DCEP), di mana sekitar 70% panas mengalir ke elektroda, sehingga benda kerja hanya menerima sekitar 30% panas. Kurangnya panas yang masuk menyebabkan penetrasi las dangkal, area fusi terbatas, dan struktur sambungan kurang solid. Kondisi ini diperkuat oleh studi Aloraier (2014) yang melaporkan bahwa DC⁺ menghasilkan bead yang lebih lebar namun lebih dangkal, sehingga tidak ideal untuk menahan beban lentur tinggi.[19]

Ketika polaritas diubah menjadi DC⁻ dengan *bevel groove* (DC-B), nilai modulus flexural meningkat ke kisaran 204–206 GPa. Peningkatan ini terjadi karena mekanisme distribusi panas DC⁻ (DCEN), di mana 70% panas justru masuk ke benda kerja sehingga penetrasi lebih dalam. Penetrasi yang baik membuat sambungan lebih homogen dan lebih kaku terhadap pembebanan lentur. Hal ini sejalan dengan studi Raghu (2019) yang menemukan bahwa penggunaan DC⁻ meningkatkan kekuatan bending secara signifikan karena kedalaman fusi yang lebih besar menghasilkan sambungan yang lebih kaku.[20]

Pada sambungan *square groove*, variasi DC+I memberikan flexural modulus sekitar 205–206

GPa, sedangkan DC-I menunjukkan nilai yang lebih tinggi, berada di kisaran 206–210 GPa. *Square groove* memiliki profil penampang yang sederhana sehingga distribusi tegangan pada bending lebih stabil. Namun, kedalaman penetrasi tetap menjadi variabel paling dominan. Hasil ini konsisten dengan penelitian Purba (2022) yang menunjukkan bahwa perbedaan *groove* secara langsung memengaruhi toughness dan bending resistance sambungan las. [21]

Nilai tertinggi diperoleh pada variasi DC- dengan *V-groove* (DC-V) yang mencapai 208–210 GPa. *V-groove* memberikan jalur penetrasi paling optimal karena bentuk celah yang mengarahkan panas lebih dalam. Kombinasi antara heat input DC- dan geometri *V-groove* menghasilkan sambungan dengan fusi yang merata dari akar hingga permukaan, menjadikan struktur sambungan paling kaku terhadap beban lentur.

3.2. Uji Impak

Pengujian impact dilakukan untuk mengetahui ketahanan pada pengelasan SMAW baja ASTM A36 yang diberikan beban secara tiba-tiba. Spesimen diberikan beban pukulan pada palu dengan berat tertentu yang diayunkan dari sudut tertentu.

Pada penelitian Ilić (2020), pengujian ketangguhan impact dilakukan mengacu pada ASTM E23 – Charpy V-Notch. Spesimen dipersiapkan dengan ukuran standar 10 × 10 × 55 mm dan diberi takikan V-notch bersudut 45° pada bagian tengah. Spesimen kemudian ditempatkan secara horizontal di atas dua anvil dengan jarak bentang 40 mm, dengan posisi takikan berada pada sisi berlawanan dari arah tumbukan.[22]

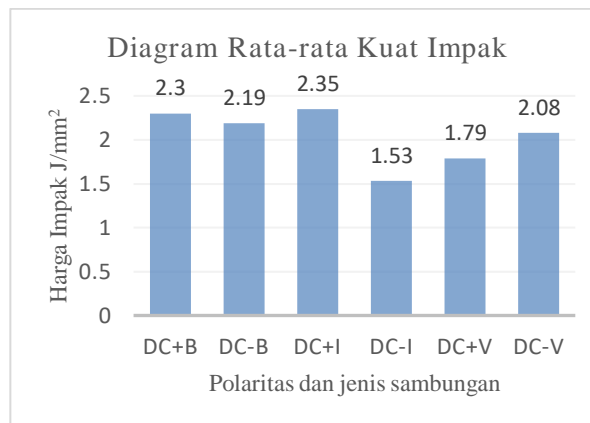
Pengujian dilakukan menggunakan pendulum berenergi tertentu yang dijatuhkan untuk mematahkan spesimen dalam satu kali tumbukan.



Gambar 14. Spesimen Sebelum Pengujian impact



Gambar 15. Spesimen Setelah Pengujian Impact



Gambar 16. Diagram Rata-rata Uji Impact

Tabel 2 Hasil Pengujian Impact

Variasi	A (mm ²)	Energi Impact (J)	Harga Impact (J/mm ²)	Rata-rata Impact (J/mm ²)
DC+B	88,8	201	2,26	2,30
	88	203	2,31	
	87,6	205	2,34	
DC-B	87,2	169	1,94	2,19
	88	220	2,50	
	89,2	191	2,14	
DC+I	88,8	185	2,08	2,35
	88	204	2,32	
	87,6	231	2,64	
DC-I	87,2	150	1,72	1,53
	88	155	1,76	
	89,2	98	1,10	
DC+V	88,8	140	1,58	1,79
	88	174	1,98	
	87,6	158	1,80	
DC-V	87,2	150	1,72	2,08
	88	180	2,05	
	89,2	220	2,47	

Hasil pengujian impact pada baja ASTM A36 dengan variasi jenis sambungan dan polaritas arus pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) menunjukkan adanya perbedaan ketangguhan material terhadap beban kejut. Nilai energi impact tertinggi diperoleh pada variasi DC+I dengan rata-rata energi sebesar 2,35 J/mm², sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi DC-I sebesar 1,53 J/mm².

Nilai impact tertinggi diperoleh pada kombinasi polaritas DC+ dan *bevel groove* karena DCEP menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan fusi yang lebih kuat, sehingga daerah HAZ

menjadi lebih stabil dan mampu menyerap energi benturan lebih besar. Hal ini sejalan dengan Nurrohkayati (2023) dan Ariyanto (2025) yang melaporkan bahwa DC+ dan *bevel groove* menghasilkan struktur sambungan yang lebih homogen dan tough. Sebaliknya, kombinasi DC- dan *square groove* menghasilkan dampak terendah karena DCEN memberi panas rendah sehingga penetrasi dangkal dan *square groove* cenderung mengalami defect seperti lack of fusion, membuat retak mudah menjalar dengan energi kecil.[16][18]

Perbedaan ini menunjukkan bahwa penggunaan polaritas DC+ (*Direct Current Electrode Positive*) menghasilkan sambungan dengan ketangguhan yang lebih baik dibandingkan polaritas DC- (*Direct Current Electrode Negative*). Hal tersebut disebabkan oleh distribusi panas yang lebih seimbang pada polaritas DC+, di mana elektroda menjadi kutub positif sehingga panas lebih banyak terserap pada logam dasar, menghasilkan penetrasi las yang lebih dalam dan fusi yang lebih baik antarlogam.

Selain itu, jenis sambungan juga berpengaruh terhadap nilai energi dampak. Variasi DC+HV memiliki nilai dampak rata-rata sebesar 2,30 J/mm², sedikit lebih rendah dari DC+I namun lebih tinggi dari semua variasi DC-. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk kampuh dan orientasi sambungan turut memengaruhi aliran panas dan daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*).

Secara keseluruhan, hasil pengujian dampak memperlihatkan bahwa kombinasi polaritas DC+ dan jenis sambungan *square groove* memberikan ketangguhan tertinggi dan tahan terhadap beban kejut. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa polaritas positif meningkatkan kualitas metalurgi hasil las dan mengurangi risiko retak akibat pendinginan cepat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekuk dan dampak terhadap baja karbon rendah ASTM A36, dapat disimpulkan bahwa jenis sambungan dan polaritas pengelasan memiliki pengaruh nyata terhadap sifat mekanik sambungan las.

Pada pengujian kuat tekuk, sambungan dengan bentuk kampuh *V-groove* dengan polaritas DC- menunjukkan kekuatan yang lebih baik dibandingkan sambungan tipe lain dengan rata-rata kuat tekuk 892 MPa. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Syahriza (2024), Jenis sambungan *V-Groove* menghasilkan kuat tekuk 823 MPa dan *bevel Groove* 762 MPa.[23] Secara keseluruhan, penggunaan polaritas DC- menunjukkan hasil kuat tekuk yang lebih baik pada ketiga jenis sambungan las, karena mampu

menghasilkan penetrasi las yang lebih merata serta distribusi tegangan yang lebih seimbang di seluruh penampang las.

Sementara itu, hasil uji dampak memperlihatkan bahwa penggunaan polaritas DC+ memberikan ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan polaritas DC-, disebabkan oleh penyerapan panas yang lebih besar pada logam dasar sehingga menghasilkan fusi logam yang lebih sempurna.

Pada uji dampak, jenis sambungan *square groove* memiliki rata-rata harga dampak tertinggi dengan nilai 2,35 J/mm², untuk sambungan *bevel groove* 2,30 J/mm² dan sambungan *V-Groove* 2,08 J/mm². Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian yang dilakukan oleh Azimansyah (2025), dimana jenis sambungan *Bevel Groove* dan *V-groove* masing-masing memiliki harga dampak 2,12 J/mm² dan 2,06 J/mm². [24]

Secara keseluruhan, kombinasi polaritas DC+ dengan jenis sambungan *square groove* atau *bevel groove* memberikan sambungan yang lebih kuat dan tangguh terhadap beban dampak, sementara itu untuk polaritas DC- dengan jenis sambungan *bevel groove*, *square groove*, dan *V-groove* memberikan sambungan yang lebih kuat dalam menahan beban lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Syauqi, *Proses Pengelasan Posisi 3G dengan SMAW*. 2020.
- [2] J. Hasil *et al.*, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pada Sambungan Las Baja SS 400 Akibat Pengelasan FCAW (Flux-Cored Arc Welding) dengan Variasi Jenis Kampuh dan Posisi Pengelasan," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, p. 203, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [3] A. El Fattah Mustafa Khourshid and M. A. Ahmed Ghanem, "The influence of welding conditions on mechanical properties of 9% Ni steel welded joints of Liquefied Natural Gas tank." [Online]. Available: www.theijes.com
- [4] S. Zahara Nuryanti and Y. Pusvyta, "PENGARUH VARIASI KUAT ARUS DAN POLARITAS TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN LAS PADA

- BAJA ASTM A36,” vol. 7, no. 1, [Online]. Available: www.teknika-ftiba.info
- [5] A. Purwanto and A. Fajar Riyadin, “Jurnal Teknik Indonesia PENGARUH POLARITAS MESIN LAS PADA PENGELASAN SMAW (Shielded Metal Arc Welding) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA KARBON RENDAH.” [Online]. Available: <https://jti.publicascientificsolution.com/index.php/rp>
- [6] R. Nursani, M. Syarif, and A. Huseiny, “Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil ANALISIS NUMERIK SAMBUNGAN LAS STRUKTUR BAJA DENGAN MENERAPKAN VARIASI LAYOUT LAS,” vol. 2, no. 1, 2020.
- [7] D. Metalurgi, “Praktikum Karakterisasi Material 1 Praktikum Karakterisasi Material 1 (MMS 310802) (MMS 310802).”
- [8] M. D. Setiawan, I. Aji, A. S. Umartono, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Gresik, “Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III (SENASTITAN III) Surabaya,” 2023.
- [9] S. T. , M. T. Mulyadi and S. T. , M. T. Iswanto, *TEKNOLOGI PENGELASAN*. Sidoarjo: UMSIDA Press, 2020.
- [10] T. Pengelasan Dan Fabrikasi Logam, M. X. Kelas KEMENTERIAN PENDIDIKAN, D. Teknologi, and K. Susanta Khusni Syauqi, *DASAR-DASAR*. 2023. [Online]. Available: <https://buku.kemdikbud.go.id>
- [11] “Specification for Carbon Structural Steel,” May 15, 2008, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/A0036_A0036M-08.
- [12] P. Varalakshmi, B. Sai Prasad, and K. Venumadhav, “Evaluation of Mechanical Properties in Reverse and Straight Polarity in Arc Welding,” *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, vol. 5, pp. 1–09, 2023, doi: 10.35629/5252-05030109.
- [13] H. F. S. D. R. Hidayat Ma'mun, “Effect of DCRP and DCSP Polarity on the Depth of Penetration of SMAW on Low Carbon Steel ASTM A36 Using E7018 Electrode,” *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, vol. 5, pp. 36–46, Jul. 2021.
- [14] S. D. Ramdani, A. Subhan, H. Febnesia, and M. Hidayat, “Comparison of penetration depth based on effect of DCEP and DCEN polarity on SMAW process using E6013 with ASTM A36,” in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., Mar. 2023. doi: 10.1063/5.0114540.
- [15] M. P. S. Paskel *et al.*, “Study of the Effect of Post Weld Heat Treatment on the Bending Strength of Weld Joints in SMAW and GMAW Methods in Root Bend Areas and Face Bend on ASTM A106 Grade B,” *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 368–371, 2025, doi: 10.52088/ijesty.v5i2.850.
- [16] Ariyanto Ariyanto and Tati Noviati, “PENGARUH JENIS WELDING GROOVE TERHADAP KEKUATAN IMPACT PLAT BAJA ASTM A36 MENGGUNAKAN MESIN LAS SMAW,” *Jurnal Ilmiah Teknik*, Jan. 2025.
- [17] R. Septian Permadi and E. Pranatal, “Effect of Electrode and Current Variation of Smaw Welding With V-Shape on The Bending Strength of ASTM A36 Ship Steel Plate Material licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0),” 2024.
- [18] Anis Siti Nurroh kayati and Zakki Anggara, “Analysis of the Effects of Polarity Variations, Electrode Types, and Cooling Media on the Tensile Strength of ASTM A36 Steel Welded Joints,” vol. 8, Jun. 2023.

- [19] Abdulkareem Aloraier, Khaled J Al-Fadhlah, and Anna Paradowska, "Effect of welding polarity on bead geometry, microstructure, microhardness, and residual stresses of 1020 steel," *Journal of Engineering Research*, pp. 137–160, Dec. 2014.
- [20] E. Srinath Reddy, B. Chennakeshavulu, A. Kumar Singh, G. Abdul Kadir, and A. Professor, "Groove Design and Its Influence on Strength of SMAW Joint," 2019. [Online]. Available: www.ijisrt.com
- [21] Z. Purba, S. Bahri, and J. Syarif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe JIBanda Aceh-Medan Km, "Pengaruh variasi kampuh las terhadap ketangguhan sambungan hasil pengelasan material baja AISI 1050 The effect of weld groove variations on the toughness of welding joints of AISI 1050 material," 2022.
- [22] A. Ilić *et al.*, "Analysis of influence of thewelding procedure on impact toughness of welded joints of the high-strength low-alloyed steels," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 7, Apr. 2020, doi: 10.3390/app10072205.
- [23] T. K. Tarik, D. Kekuatan, B. Baja, K. Ss400, 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."
- [24] J. Rekayasa Material, M. dan Energi, R. Azimansyah, N. Ana Mufarida, and M. Hairul Bahri, "Pengaruh Variasi Tipe Sambungan Las SMAW pada Baja Karbon Rendah terhadap Uji Tarik dan Uji Impact," vol. 8, no. 2, pp. 320–326, 2025, doi: 10.30596/rmme.v8i2.24931.