

Analisis Pengaruh Welding Procedure Specification (WPS) Pada Proses GTAW Posisi 2G terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Baja S355J2 Berdasarkan Uji Impact dan Bending

Alvianus Pasudi^{*1}, Muhammad Irsyad Saihilmi, S.T., B.Eng., M.T., M.Sc. and Yosef Adicita, S.Fil., M.Sc.

*** Politeknik Negeri Batam**

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: alvianuspasudi@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan Welding Procedure Specification (WPS) pada proses pengelasan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) posisi 2G terhadap sifat mekanik sambungan las baja S355J2 berdasarkan pengujian Impact Charpy dan Bending. Material yang digunakan adalah baja S355J2 dengan ketebalan awal 12 mm. Pada tahap preparasi spesimen Impact Charpy, material dipotong dan disesuaikan menjadi ketebalan 10 mm sesuai dimensi spesimen pengujian. Proses pengelasan dilakukan menggunakan filler metal ER80S-D2 sesuai parameter WPS. Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif melalui inspeksi visual, penetrant testing, uji bending, dan uji Impact Charpy pada suhu ruang sekitar 25°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara visual sambungan las tidak menunjukkan cacat, namun pada penetrant testing ditemukan cacat undercut pada salah satu spesimen. Pada pengujian bending, satu spesimen tidak mengalami cacat, sedangkan dua spesimen mengalami retak dengan S1 yang memiliki defect yaitu 1.98 mm, 1.96 mm dan pada S3 yang memiliki defect yaitu 3.74 mm, 3.43 mm. Sementara itu, pengujian Impact Charpy menghasilkan nilai energi serap sebesar 310,9 J, 243,4 J, dan 421,2 J, yang seluruhnya memenuhi acceptance criteria minimum sebesar 27 J. Berdasarkan hasil tersebut, penerapan WPS pada proses GTAW posisi 2G menghasilkan sambungan las dengan ketangguhan yang baik terhadap beban kejut, namun pengendalian proses pengelasan masih perlu diperhatikan untuk meminimalkan terjadinya cacat pada sambungan.

Kata kunci: GTAW, WPS, S355J2, Pengelasan 2G, Uji Impact, Uji Bending.

Abstract

This study aims to analyze the application of the Welding Procedure Specification (WPS) in the Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process in the 2G position and its effect on the mechanical properties of S355J2 steel welded joints based on Charpy Impact and Bending tests. The material used was S355J2 steel with an initial thickness of 12 mm. During the preparation of the Charpy Impact test specimens, the material was cut and adjusted to a thickness of 10 mm in accordance with the specified specimen dimensions. The welding process was performed using ER80S-D2 filler metal according to the WPS parameters. A quantitative method was employed through visual inspection, penetrant testing, bending testing, and Charpy Impact testing at room temperature of approximately 25°C. The results showed that the welded joints had no visible defects during visual inspection; however, an undercut defect was detected in one specimen during penetrant testing. The bending test showed that one specimen had no defects, while two specimens exhibited cracks. Meanwhile, the Charpy Impact test produced absorbed energy values of 310.9 J, 243.4 J, and 421.2 J, respectively, all of which met the minimum acceptance criterion of 27 J. Based on

these results, the application of the WPS in the GTAW process in the 2G position produced S355J2 welded joints with good toughness against impact loading. However, control of the welding process still needs to be optimized to minimize defects in the welded joints.

Keywords : *GTAW, WPS, S355J2, 2G Welding, Impact Test, Bending Test*

1 Pendahuluan

Di era sekarang Perkembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena pengelasan mempunyai peranan yang sangat penting dalam rekayasa dan reparasi logam.[1] Material S355J2 adalah kelas baja struktural yang banyak digunakan dalam industri konstruksi karena kombinasi kekuatan, daya tahan, dan fleksibilitasnya. Proses pengelasan dan pengelasan kancing melibatkan penggabungan dua kepala peralatan dengan cara menyambungkannya secara erat.[2]

Salah satunya metode ini dikenal sebagai pengelasan GTAW atau biasa juga disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan suatu proses pengelasan dengan memakai busur nyala listrik yang dihasilkan oleh elektroda yang berbahan tungsten, sedangkan bahan penambah dibuat dari yang sama maupun yang sejenis dengan material yang akan dilas, Pengelasan GTAW mampu menghasilkan lasan berkualitas tinggi pada hampir semua jenis logam. Dalam hal ini disebabkan pengelasan menggunakan las GTAW banyak sekali dibutuhkan tidak hanya untuk pengelasan baja karbon saja melainkan juga digunakan untuk pengelasan stainless steel maupun aluminium. Pengelasan GTAW dapat menjangkau proses pengelasan yang luas dan mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyatukan logam, serta dapat pula mengelas pada segala posisi pengelasan dengan kepadatan yang tinggi.[3]

Suatu welding procedure (prosedur pengelasan) akan merinci tahap- tahap pengelasan atau penyambungan yang akan dilakukan serta menentukan nilai-nilai atau batasan nilai untuk semua variabel yang dapat dikontrol selama proses pengelasan dan bahan yang digunakan memiliki standard operational prosedur yang dikenal dengan WPS (*Welding Procedure Specification*). WPS lahir dari rangkuman PQR (*Procedure Qualification Record*) yang di dalamnya terdapat data efident dari proses pengelasan dari suatu *joint* yang terekam dalam satu lembaran form yang disebut runsheet. WPS bisa dikatakan terqualifikasi atau telah teruji dan siap dijadikan acuan prosedur pengelasan di suatu proyek tentunya harus melewati tahap- tahap pengujian.[4]

Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penerapan *Welding Procedure Specification* (WPS) pada proses pengelasan GTAW posisi 2G terhadap sifat mekanik sambungan las baja S355J2, Dan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara parameter pengelasan yang digunakan dengan kualitas mekanik sambungan las berdasarkan hasil uji *impact* dan uji bending. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi apakah parameter pengelasan yang sesuai dengan WPS mampu menghasilkan sambungan las yang memenuhi standar kualitas dan ketahanan mekanik yang dibutuhkan pada konstruksi baja struktural. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam optimasi prosedur pengelasan GTAW posisi 2G pada material baja S355J2 sehingga dapat meningkatkan kualitas, keamanan, dan keandalan sambungan las yang spesimen.

Penelitian pertama oleh Ahmad Abi Sodik dari Universitas Muhammadiyah Jember membahas tentang penelitian mencari pengaruh penerapan WPS aluminium 6005 tipe *butt joint* terhadap pengelasan sambungan aluminium 6061 dengan posisi pengelasan 1G (flat) dan 3G (vertikal) serta pada ketebalan 3 mm, 5 mm, dan 8 mm dan menggunakan *filler metal* ER 5356. Pengelasan aluminium 6061 ini dilakukan oleh welder bersertifikat dengan menggunakan las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan detail sambungan pengelasan *single V-butt joint* sudut 60°. Pengujian material dilakukan dengan menggunakan pengujian kekuatan tarik, bending dan juga pengujian cacat dengan menggunakan

radiography dan dry penetrant. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan aluminium 6061 dengan menggunakan WPS aluminium 6005 dengan posisi 1G menghasilkan las yang lebih baik dibandingkan posisi 3G dari hasil pengujian cacat luar maupun dalam. Cacat porositas terjadi pada posisi pengelasan 1G dengan jumlah dan ukuran yang sangat kecil sedangkan pada posisi pengelasan 3G terjadi cacat porositas dan *incomplete fusion* dengan ukuran dan jumlah di luar syarat penerimaan pengujian berdasarkan ISO. Selain pengujian cacat las, hasil dari pengujian kekuatan material las yang dilakukan dengan menggunakan uji tarik dan uji tekuk juga menunjukkan kekuatan yang signifikan terjadi pada posisi pengelasan 1G baik material tebal 3 mm, 5 mm maupun tebal 8 mm.[5]

Penelitian kedua oleh Afif Abdullathif dari Politeknik Energi Dan Mineral Akamigas membahas tentang Penelitian ini mengevaluasi implementasi *Welding Procedure Specification* (WPS) dan *Procedure Qualification Record* (PQR) pada pengelasan material *Carbon Steel ASTM A333 6GR* dan *API 5L X65* menggunakan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) pada posisi 6G. Evaluasi dilakukan berdasarkan ASME Section IX dan ASME B31.3 melalui uji visual, radiografi, serta pengujian mekanik (*tensile, bend, dan Charpy impact*). Hasil menunjukkan seluruh parameter pengelasan berada dalam rentang WPS, dan semua spesimen memenuhi kriteria penerimaan kode. Uji tarik menghasilkan nilai 524–543 MPa dengan patahan pada base metal, uji lengkung menunjukkan *discontinuity* 0,7 mm, dan uji impak pada -46°C memenuhi syarat ketangguhan material. Analisis makro juga menunjukkan fusi sempurna dan HAZ yang sempit. Implementasi WPS dan PQR terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas sambungan, meminimalkan potensi cacat, dan memastikan keandalan perpipaan proses di fasilitas upstream migas.[6]

Penelitian ketiga oleh Rika Veronika dari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa membahas tentang Pada era modern ini teknologi berjalan dengan pesatnya, tidak terkecuali dengan teknik pengelasan. Pada proses pengelasan ini, seorang welder memiliki buku panduan yang dinamakan dengan WPS (*Welding Procedure Specification*). Peran WPS dalam pengelasan ini sangatlah penting, hal tersebut dikarenakan WPS dibuat untuk mencapai hasil pengelasan yang baik dan sesuai dengan apa yang diinginkan. Oleh sebab itu, penelitian perihal kesesuaian WPS dengan hasil pengelasan ini dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melakukan pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) posisi 1G serta proses uji yang dilakukan dengan uji bending. Proses uji bending ini dilakukan untuk mengetahui apakah WPS yang digunakan sudah sesuai dengan hasil yang diinginkan atau belum sesuai. Pada hasil uji bending yang sudah dilakukan dengan percobaan pengelasan sebanyak dua kali, maka didapatkan hasil uji bending sebesar 3,528 kN/mm². Pada proses pengelasan ini diperoleh hasil yang lebih optimal dengan menggunakan parameter ampere 94A-106A dan tegangan 23V-25V. Pada proses ini tidak ditemukan cacat las visual sehingga WPS ini dapat digunakan oleh peserta pelatihan.[7]

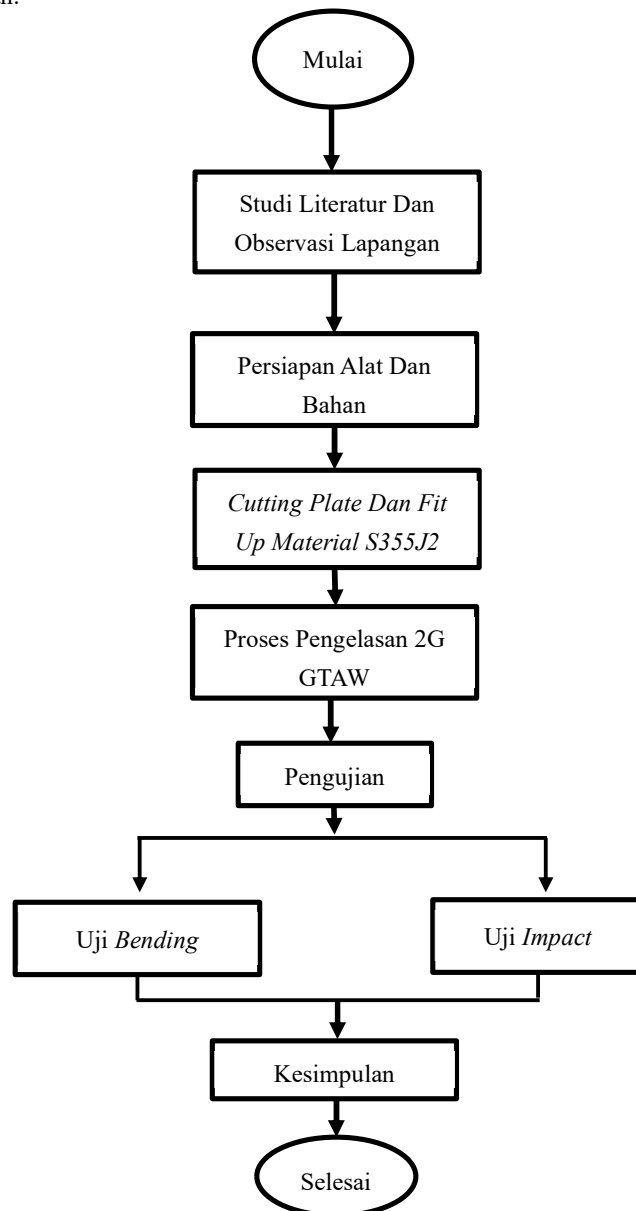
Selanjutnya, Penelitian keempat Tito Antonio Jr dari Politeknik Energi dan Mineral Akamigas membahas mengembangkan dan mengkualifikasi spesifikasi prosedur pengelasan (WPS) menggunakan metode SMAW untuk aplikasi tangki bahan bakar dengan material ASTM SA-36. Metode penelitian menggunakan pendekatan eksperimen dengan pengelasan berlapis menggunakan elektroda E7016 pada lapisan akar dan panas serta elektroda E7018 pada lapisan penutup dalam posisi pengelasan datar. Evaluasi integritas sambungan dilakukan melalui pengujian tanpa merusak (NDT) serta pengujian mekanik destruktif (DT) meliputi uji tarik dan uji tekuk. Hasil pengujian menunjukkan kekuatan tarik sambungan las melampaui persyaratan minimum material induk, dengan patahan terjadi pada logam induk. Pengujian tekuk juga menunjukkan hasil yang memenuhi syarat dengan cacat di bawah batas toleransi standar. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis berupa prosedur terkualifikasi yang siap diimplementasikan di industri migas, memastikan integritas struktural dan keselamatan operasional tangki penyimpanan. Prosedur pengelasan yang dikembangkan telah memenuhi kualifikasi sesuai standar *ASME Section IX* dan

layak diimplementasikan untuk aplikasi tangki bahan bakar.[8]

2 Metodologi Penelitian

2.1 Studi Literatur

Berdasarkan studi literatur tersebut, Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena dapat diketahui bahwa parameter dalam *Welding Procedure Specification* (WPS) pada proses GTAW posisi 2G memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan las baja S355J2. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh WPS terhadap nilai impact dan bending sehingga dapat diperoleh parameter pengelasan yang menghasilkan kualitas sambungan las terbaik. Referensi-referensi untuk mengerjakan penelitian ini didapat dari buku, jurnal ilmiah, paper, tugas akhir sebelumnya yang masih berkaitan.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Persiapan Alat Dan Bahan

2.2.1 Material EN S355J2

Menentukan material baja EN S355J2 sebagai persiapan penelitian yang akan dilakukan. Plat baja yang di las memiliki ketebalan 12 mm. dipotong dengan ukuran 250 x 150 x 12 Sebelum proses pengelasan dilakukan, terlebih dahulu melakukan tahapan persiapan material untuk sambungan las dengan metode GTAW. Setelah dilakukan pemotongan material, maka material yang telah di potong dibevel dengan menggunakan gerinda dengan sudut 60°.



Gambar 1. Material EN S355J2

BASE METALS					
Name/Grade		Material specification			
I	S355J2	EN			
II	S355J2	EN			
	C max	CE max	PCM	Groove [mm]	Fill
I			0.183	16.00 - 50.80	3.0
II			0.183	16.00 - 50.80	3.0

Gambar 2. WPS Base Metal

Komposisi kimia material S355J2 pada gambar 2 tersebut mengacu pada standar EN 10025-2 tentang *hot rolled structural steel* yang diterbitkan oleh *European Committee for Standardization* (CEN).[9]

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja S355J2

Steel Grade	C	Si	Mn	P	S	Cu	N
S355J2	0,2	0,55	1,6	0,025	0,025	0,55	-

Pada tabel 1 dijelaskan bahwa Baja S355J2 merupakan baja struktural *non-alloy* yang banyak digunakan pada konstruksi dan fabrikasi *offshore* karena memiliki sifat mekanik dan kemampuan las yang baik. Berdasarkan standar EN 10025-2:2004, baja S355J2 memiliki kandungan unsur kimia maksimum yaitu karbon (C) 0,20%, silikon (Si) 0,55%, mangan (Mn) 1,60%, fosfor (P) 0,025%, sulfur (S) 0,025%, dan tembaga (Cu) 0,55%. Kandungan unsur tersebut mempengaruhi sifat kekuatan, ketangguhan, pada material saat dilakukan proses pengelasan.

2.2.2 Mesin Welding GTAW

Untuk tahap pengelasan menggunakan mesin welding GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), yang memiliki rentang arus pengelasan antara 150A-220A, ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Mesin GTAW PROTIG-400W



Gambar 4. Tabung Gas Argon

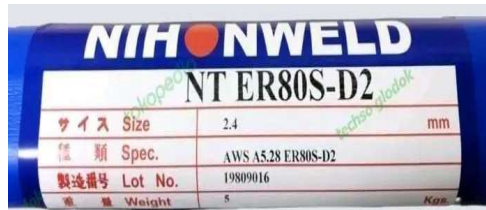
PULSE – Inverter Pulse TIG/MMA

❖ Peralatan Las GTAW Meliputi :

1. Mesin Las Gtaw
2. *Welding Torch*
3. Tabung Gas
4. Kawat Las
5. *Tungsten* Elektroda
6. Regulator Tabung Gas

2.2.3 Kawat Las

Alat yang berbentuk kawat yang digunakan dalam proses pengelasan untuk menyambungkan dua bagian logam. Kawat las dapat terdiri dari berbagai jenis logam dan panduan, kawat ini dilelehkan menggunakan sumber panas dari alat las sehingga dapat mengisi celah sambungan dan menghasilkan ikatan yang kuat antar logam. Dan penelitian ini menggunakan kawat las *ER80S-D2 ESAB* sesuai dengan WPS.



Gambar 5. Kawat Las GTAW

2.2.4 Thermometer

Alat yang digunakan untuk memantau atau mencatat data suhu dengan andal, istilah lain thermometer adalah sensor yang mengukur suhu.



Gambar 6. Thermometer

Pada gambar 6 menjelaskan penggunaan alat thermometer melakukan pengecekan dan pencatatan langsung sebelum dan saat melakukan aktual welding parameter yang dipakai serta memastikan juga *heat input* masih sesuai dengan WPS yang berlaku pada material.

2.2.5 Pemotongan Dan Fit Up

Pemotongan dan fit up merupakan tahap awal dalam persiapan sebelum dilakukan proses pengelasan. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah tipe EN 10025-2, Setelah proses pemotongan, tahap fit up dilakukan dengan menyusun dua pelat dalam posisi *butt joint* (sambungan lurus) menggunakan jig atau alat bantu penjepit untuk memastikan keselarasan (*alignment*) yang baik. Jarak root gap dan sudut kampuh disesuaikan dengan spesifikasi *Welding Procedure Specification* (WPS), dengan memperhatikan celah akar, permukaan sambungan, dan ketegakan sudut untuk memastikan penetrasi las

yang optimal dan menghindari cacat seperti *lack of fusion* atau *undercut*.



Gambar 7. Pemotongan Material



Gambar 8. Fit Up Material

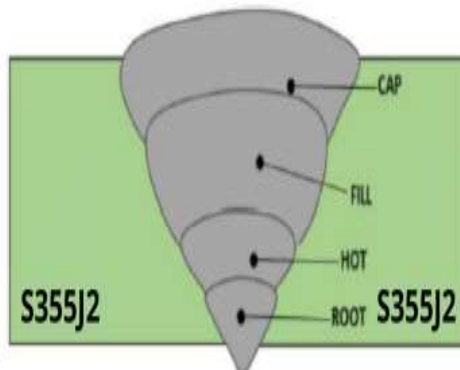


Gambar 9. Material 2 Spesimen

Pada gambar 9 menjelaskan peletakan material dengan 2 spesimen dengan menggunakan JIG sebagai alat bantu menjepit memastikan *Fit Up* yang baik.

2.2.6 Proses Pengelasan Spesimen

Sebelum melakukan proses pengelasan dipastikan material sudah dipanaskan (preheat), Kondisi ini umumnya terjadi karena proses pengelasan dilakukan tanpa melalui tahap pemanasan awal (preheating) terlebih dahulu. *Preheat* menurut *American Welding Society (AWS)*, preheat didefinisikan sebagai proses pemberian panas pada logam yang akan dilas dengan tujuan untuk mencapai dan mempertahankan suhu preheat. *Temperature preheat* adalah suhu logam dasar di sekitar area yang akan dilas sebelum proses pengelasan dimulai.[10]



Gambar 10. Jarak Root, Fill And Cap



Gambar 11. Posisi Pengelasan GTAW 2G

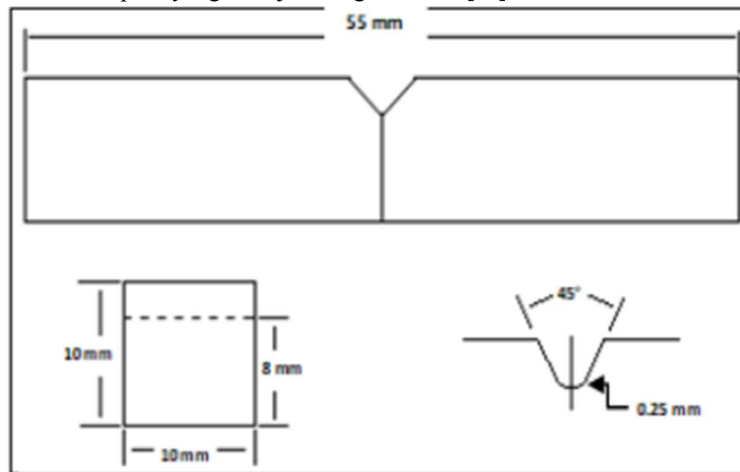
Pada gambar 10 menjelaskan urutan dan struktur pengelasan bertingkat pada sambungan pelat baja S355J2,

dimulai dari akar (*root*), *hot pass*, *fill*, hingga *cap*. Setiap lapisan memiliki fungsi penting untuk menjamin kekuatan sambungan las dan kualitas hasil akhir.

Dan pada gambar 11 menjelaskan pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) posisi 2G merupakan proses pengelasan sambungan *groove* yang dilakukan pada posisi horizontal dengan benda kerja berada tegak lurus. Pada proses ini digunakan elektroda *tungsten* yang tidak ikut mencair serta gas pelindung seperti argon untuk melindungi daerah las dari kontaminasi udara luar. Berdasarkan gambar di atas, proses pengelasan dilakukan pada sambungan plat baja posisi 2G dengan memperhatikan penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti helm las, sarung tangan, dan pakaian kerja untuk menjaga keselamatan operator.

2.2.7 Pengujian Impact Test

Pengujian impact menggunakan spesimen impact v-notch dengan ukuran panjang 55 mm, tinggi 10 mm, dan lebar 10 mm. *V notch* mempunyai kedalaman 2 mm, dengan derajat *V-notch* 45° dan radius *notch* 0.25 mm seperti yang ditunjukkan gambar 12.[11]



Gambar 12. Dimensi Spesimen Impact Test

3 Analisa Data Dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan tahapan penting untuk menafsirkan dan mengevaluasi hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sambungan las material S355J2. Pada bagian ini, data-data hasil uji seperti kekuatan kejut (*impact*), kekuatan lentur (*bending*) pada sambungan las akan dianalisis secara sistematis untuk memahami.

3.1 Parameter Pengelasan

Pada penelitian ini, hasil pengelasan dipengaruhi oleh beberapa parameter. Seperti material spesifikasi yaitu S355J2 dengan tebal 12 mm dengan filler metal classification ER80S-D2 ESAB dan diameter filler 2,4 mm dengan posisi pengelasan 2G dan polaritas DCEN dalam dunia teknik polaritas sangat menentukan panas, penetrasi dan kualitas sambungan las. Penentuan parameter ini sesuai dengan standar yang ada pada gambar 13.

ROOT PASS	Electode	ER80S-D2
	Process	GTAW
	Size	2.4
	Polarity	DCEN
	Ampere	150 A
	Voltage	14 V
	Travel Speed (mm/min)	55
	Wire Feed Speed (mm/min)	
	Heat Input (Kj/mm)	1.80

Hot Pass	Electode	ER80S-D2
	Process	GTAW
	Size	2.4
	Polarity	DCEN
	Ampere	185 A
	Voltage	14.5 V
	Travel Speed (mm/min)	80
	Wire Feed Speed (mm/min)	
	Heat Input (Kj/mm)	1.61

Filler Pass	Electode	ER80S-D2
	Process	GTAW
	Size	2.4
	Polarity	DCEN
	Ampere	190 A
	Voltage	14 V
	Travel Speed (mm/min)	85
	Wire Feed Speed (mm/min)	
	Heat Input (Kj/mm)	1.60

Cap Pass	Electode	ER80S-D2
	Process	GTAW
	Size	2.4
	Polarity	DCEN
	Ampere	180 A
	Voltage	14 V
	Travel Speed (mm/min)	60
	Wire Feed Speed (mm/min)	
	Heat Input (Kj/mm)	1.85

Gambar 13. Parameter Pengelasan

Pada gambar 12, Menjelaskan Pemakaian kuat arus listrik (*Ampere*) dalam proses pengelasan, tegangan listrik *Voltage* (V) selama pengelasan, kecepatan pergerakan elektroda selama proses pengelasan (*Travel Speed*), Jumlah panas yang diterapkan ke material perpanjang satuan (*Heat Input*). Parameter ini penting untuk mengontrol kualitas sambungan las dan mecegah cacat las pada material. Parameter Pengelasan, rumus yang paling relevan dengan data penelitian Anda adalah *Heat Input*, karena parameter yang Anda gunakan mencakup arus, tegangan, dan travel speed. Pada paper Anda juga sudah menyebut ketiga parameter tersebut.

Rumus *Heat Input*

$$HI : \frac{V \times I \times 60}{1000 \times TS}$$

Keterangan :

HI = *Heat Input* (kJ/mm)

V = Tegangan/*Voltage* (V)

I = Arus pengelasan/*Current* (A)

TS = *Travel Speed* (mm/min)

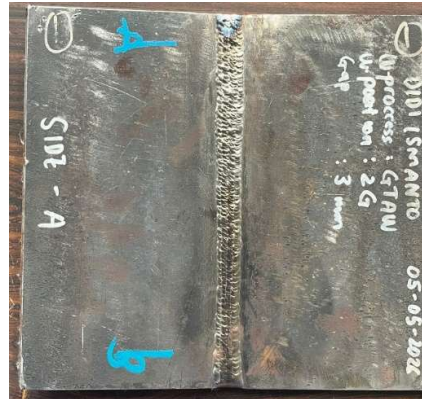
60 = Konversi waktu dari menit ke detik

1000 = Konversi Joule ke kiloJoule

3.2 Data Hasil Pengujian

3.2.1 Data Visual

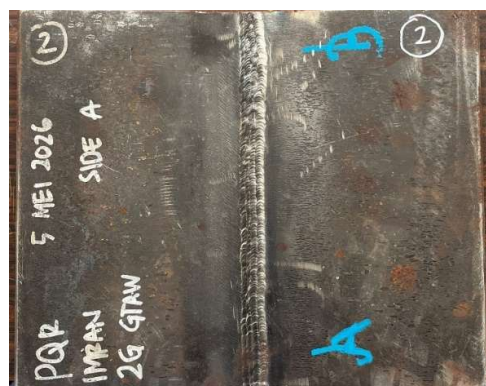
Pada gambar dibawah ini menjelaskan hasil dari pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) posisi 2G yang berjumlah 3 material. Secara visual tidak memiliki cacat las akan tetapi pada dalam material belum diketahui adanya cacat las.



Gambar 14. Visual Material 1

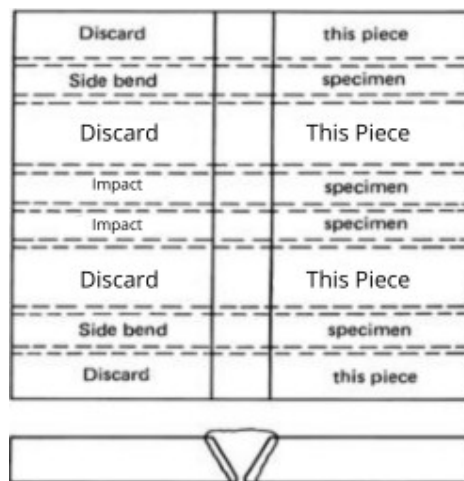


Gambar 15. Visual Material 2



Gambar 16. Visual Material 3

Pada gambar 17 aturan *ASME IX side bend test & impact test* yang menunjukkan penempatan dan jenis spesimen uji untuk mengenai cara pemotongan dan pengambilan spesimen uji dari material, untuk memastikan bahwa pengujian *side bend test & impact test* telah sesuai standar.



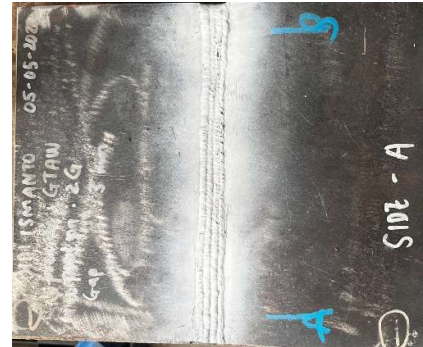
Gambar 17. Asme XI Side Bend & Impact Test

3.2.2 Penetrant Testing

Pengujian penetrant pada pengelasan berfungsi untuk mendeteksi cacat pada permukaan hasil las, seperti retak, atau cacat lain yang terlihat di permukaan. Berikut hasil dari pengujian penetrant pada material 3 spesimen.



Gambar 18. Uji Penetrant 1



Gambar 19. Uji Penetrant 2



Gambar 20. Uji Penetrant 3

Pada gambar 18 menjelaskan bahwa terdapat *welding defect* yaitu undercut yang sudah ditandai atau *dimarking*, dan pada gambar 19 dan 20 tidak terdapat *welding defect* yang terlihat secara visual.

3.2.3 Pengujian Bending

Pengujian bending atau uji tekuk merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menahan beban lentur tanpa mengalami kerusakan seperti retak atau patah.



Gambar 21. Spesimen Pengujian Bend 1



Gambar 22. Spesimen Pengujian Bend 2



Gambar 23. Spesimen Pengujian Bend 3

Pada gambar 21 dan 23 menjelaskan adanya tanda-tanda retak (*Crack*) diarea las saat dilakukan bending,

serta bending yang tidak rata. Kondisi ini menandakan adanya penumpukan tegang yang lebih lemah akibat pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan dan juga bisa terjadi pada trafo atau mesin las yang eror, sehingga mengurangi kemampuan sambungan pada specimen pertama dan yang ketiga.

Table 2 Data Hasil Bending Test

Bending Test Yang Di Ujikan Dengan 3 Test Piece Dengan Masing Masing 2 Potong			
<i>No</i>	<i>Specimen</i>	Result	<i>Remark</i>
1	S1	FOUND DEFECT (1.98 MM, 1.96 MM)	FINISH
2	S2	NO DEFECT FOUND	FINISH
3	S3	FOUND DEFECT (3.74 MM, 3.43 MM)	FINISH

Pada table 3.2 menjelaskan adanya defect crack pada specimen S1, dan pada specimen S3 terdapat bersamaan dengan S1 yang memiliki *defect* yaitu 1.98 mm, 1.96 mm dan pada S3 yang memiliki *defect* yaitu 3.74 mm, 3.43 mm. Penjelasan pada aturan *ASME IX* jika salah satu menunjukkan retak terbuka sepanjang 2 mm masih bisa diterima dan apabila mendapatkan retak 4 mm dinyatakan pengujian ini gagal.

QW-163 ACCEPTANCE CRITERIA — BEND TESTS

The weld and heat-affected zone of a transverse weld-bend specimen shall be completely within the bent portion of the specimen after testing.

The guided-bend specimens shall have no open discontinuity in the weld or heat-affected zone exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm), measured in any direction on the convex surface of the specimen after bending. Open discontinuities occurring on the corners of the specimen during testing shall not be considered unless there is definite evidence that they result from lack of fusion, slag inclusions, or other internal discontinuities. For corrosion-resistant weld overlay cladding, no open discontinuity exceeding $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm), measured in any direction, shall be permitted in the cladding, and no open discontinuity exceeding $\frac{1}{8}$ in. (3 mm) shall be permitted along the approximate weld interface.

Gambar 24. Aturan ASME Pada Pengujian Uji Bend Test

Pada gambar 24 aturan *ASME IX QW-163* kriteria penerimaan-uji bending menjelaskan bahwa sambungan las dinyatakan lulus uji tekuk apabila tidak terdapat cacat terbuka (*open defect*) seperti *porosity*, *slag inclusion* dan *lack of fusion*. Pada permukaan tekuk melebihi $\frac{1}{8}$ inc. (3 mm) dalam panjang total setiap specimen uji bending. Tujuan uji bend test untuk menilai duktilitas dan intergritas lasan, serta memastikan bahwa sambungan las tidak mengalami cacat serius seperti *porosity* atau *lack of fusion* yang dapat terlihat di permukaan.

3.2.4 Pengujian Impact Charpy

Uji Impact Charpy merupakan salah satu metode pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui ketangguhan suatu material terhadap beban kejut atau benturan. Pada pengujian ini, spesimen yang telah diberi takikan (*notch*) dipukul menggunakan bandul (pendulum) hingga patah. Besarnya energi yang diserap oleh material selama proses patah diukur dalam satuan joule (J). Semakin besar energi yang mampu diserap, semakin tinggi ketangguhan material tersebut. Hasil uji *Impact Charpy* digunakan untuk menilai kemampuan material dalam menahan beban tumbukan secara tiba-tiba, mengidentifikasi sifat ulet atau getas suatu material, serta menjadi dasar dalam pemilihan material yang akan digunakan pada komponen atau struktur yang berpotensi mengalami benturan selama masa pemakaian.

Uji *Impact Charpy* dilakukan untuk mengetahui ketangguhan material terhadap beban kejut. Material S355J2 yang digunakan memiliki ketebalan awal 12 mm. Pada tahap preparasi spesimen, material tersebut dipotong dan disesuaikan menjadi 10 mm sesuai dimensi standar spesimen *Impact Charpy*, sehingga diperoleh ukuran spesimen $10 \times 10 \times 55$ mm. Spesimen selanjutnya dibuat *V-notch* dengan kedalaman 2 mm, sudut 45° , dan radius 0,25 mm sebelum dilakukan pengujian. Pengujian *Impact Charpy* dilakukan

pada suhu ruang, yaitu sekitar 25°C, tanpa menggunakan pendinginan hingga temperatur -20°C. sesuai standar *ASTM E23-18* sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 25. Spesimen Uji *Impact* 1 (A)



Gambar 26. Spesimen Uji *Impact* 2 (B)



Gambar 27. Spesimen Uji *Impact* 3 (C)

Pada gambar 25 (Spesimen A) : Patahan ulet (*ductile fracture*), karena energi serap tinggi sehingga material mampu mengalami deformasi sebelum patah. Dan pada Gambar 26 (Spesimen B) : Patahan campuran (*mixed fracture*), ketangguhan lebih rendah dibanding spesimen lain tetapi masih memenuhi standar. Gambar 27 (Spesimen C) : Patahan ulet (*ductile fracture*), karena memiliki energi serap tertinggi sehingga paling tahan terhadap beban kejut.



Gambar 28. Dokumentasi *Display* Mesin Uji *Impact* A



Gambar 29. Dokumentasi *Display* Mesin Uji *Impact* B



Gambar 30. Dokumentasi *Display* Mesin Uji *Impact* C

Pada gambar 28 ditampilkan hasil pengujian *Impact Charpy* spesimen A pada mesin *Bluehill Impact*. Display menunjukkan nilai absorbed energy sebesar 310,9 J, yang merupakan energi yang diserap spesimen hingga mengalami patah. Nilai ini menunjukkan bahwa spesimen memiliki ketangguhan yang baik terhadap beban kejut. Dan pada Pada gambar 29 ditampilkan hasil pengujian *Impact Charpy* spesimen B. Display mesin menunjukkan nilai energi serap absorbed energy sebesar 243,4 J. Meskipun merupakan nilai terendah di antara ketiga spesimen, hasil tersebut masih memenuhi kriteria penerimaan pengujian. Pada gambar 30 ditampilkan hasil pengujian *Impact Charpy* spesimen C. Display mesin menunjukkan nilai absorbed energy sebesar 421,2 J, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh spesimen. Hasil ini menunjukkan bahwa spesimen memiliki ketangguhan paling baik dalam menahan beban kejut.

Hasil pengujian impact ditunjukkan oleh tabel 3 dengan pengujian 3 spesimen posisi V-Notch pengujian impact dengan serapan energi tertinggi terdapat pada posisi Spesimen 3 sebesar 421,2 Joule, kemudian disusul pada posisi Spesimen 3, Spesimen 1, dan terkecil pada posisi spesimen 2 yaitu sebesar 243,4 Joule.

Tabel. 3 Hasil Pengujian *Impact Charpy*

Kode Spesimen/Specimen Code	Lokasi Takik/V-notch Position	Ukuran Spesimen/Specimen Size (mm)	Temperature Uji/Test Temperature (°C)	Nilai Impak Charpy/Charpy Impact Value (Joule)
671 (A) Spesimen 1	Root Pass	10X10X55 mm	25°C	310,9
681 (B) Spesimen 2				243,4
691 (C) Spesimen 3				421,2

Tabel. 4 Hasil Pengujian *Impact Dan Acceptance Criteria*

Kode Spesimen/Specimen Code	Average (J)	Acceptance Criteria (J)	Remarks (Accept/Reject)
671 (A) Spesimen 1	310,9	27	ACCEPT
681 (B) Spesimen 2	243,4	27	ACCEPT
691 (C) Spesimen 3	421,2	27	ACCEPT

Nilai energi impact yang besar menunjukkan bahwa material pada posisi tersebut bersifat ulet walaupun pada kondisi suhu rendah. Sedangkan nilai energi impact yang rendah menunjukkan bahwa material pada posisi tersebut mengalami transisi dari ulet menuju getas. Berdasarkan Tabel 4, bahwa material yang hanya memiliki energi impact maksimum sebesar 27 Joule dianggap tidak memenuhi syarat untuk digunakan sebagai material bejana tekan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian penerapan *Welding Procedure Specification* (WPS) pada proses pengelasan GTAW posisi 2G menggunakan material baja S355J2, dapat disimpulkan bahwa:

- Proses pengelasan GTAW posisi 2G pada material S355J2 tebal 12 mm telah dilakukan berdasarkan parameter WPS dengan menggunakan filler metal ER80S-D2. Hasil inspeksi visual menunjukkan sambungan las dalam kondisi baik, sedangkan penetrant testing menemukan cacat undercut pada salah satu spesimen.
- Hasil pengujian bending menunjukkan bahwa satu spesimen tidak mengalami cacat, sedangkan dua spesimen mengalami retak dengan ukuran cacat yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat ketidaksempurnaan pada hasil sambungan las yang perlu diperhatikan dalam pengendalian parameter pengelasan.
- Hasil pengujian *Impact Charpy* pada suhu ruang sekitar 25°C menunjukkan nilai energi serap sebesar 310,9 J, 243,4 J, dan 421,2 J. Seluruh hasil tersebut memenuhi acceptance criteria minimum sebesar 27 J. Pada tahap preparasi spesimen, material awal dengan ketebalan 12 mm disesuaikan menjadi 10 mm untuk memenuhi dimensi spesimen *Impact Charpy*.

Secara keseluruhan, penerapan WPS pada proses GTAW posisi 2G mampu menghasilkan sambungan las S355J2 dengan ketangguhan yang baik berdasarkan hasil uji *Impact Charpy*. Namun, hasil penetrant testing dan bending menunjukkan bahwa pengendalian parameter serta kualitas proses pengelasan masih perlu dioptimalkan untuk meminimalkan cacat pada sambungan las.

5 Daftar Pustaka

Penulisan referensi menggunakan urutan angka seperti berikut, dimana nomor urut disesuaikan dengan nomor referensi yang ditulis didalam isi paper.

- [1] Y. Ari Ardiansah, “Studi Hasil Proses Pengelasan FCAW (Flux Cored Arc Welding) Pada Mterial ST 41 Dengan Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Abstrak,” *Jtm*, vol. 07, no. 02, pp. 9–16, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/download/29192/26735>
- [2] P. Kekuatan, M. Pada, and J. T. Mesin, “Pengelasan Butt Joint Material S355J2,” vol. 02, pp. 1–24, 2024, [Online]. Available: <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/23929/1/Awal, BAB 1 & BAB 5 Pengaruh Kekuatan Mekanik Pada Pengelasan Butt Joint Material S355J2.pdf>
- [3] M. Sarifudin and P. H. Tjahjanti, “Karakteristik Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) pada Plat Stainless Steel 201 di Tabung Air Minum,” vol. 03, no. 1, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/e776/61155cdbb8b08652c89a563135dfb25fb616.pdf>
- [4] R. Siddiq, S. Liston, and D. Hutasoit, “Analisa Pengaruh Parameter Pengelasan Wps Dan Non Wps Terhadap Pengujian Destruktif Proses Smaw Pada Material S355j2,” vol. 19, no. 1, pp. 1–6, 2025, [Online]. Available: <https://ejurnal.univbatam.ac.id/index.php/Teknik/article/view/1688>
- [5] A. A. Sodik, N. A. Mufarida, and K. Kosjoko, “Pengaruh Penerapan Wps (Welding Procedure Specification) Al 6005 Tipe Butt Joint Terhadap Kekuatan Sambungan Las Al 6061,” *J-Proteksion*, vol. 3, no. 2, p. 1, 2019, doi: 10.32528/jp.v3i2.2246.
- [6] A. A. Abdullathif and Ayende, “Analisis Implementasi Wps & Pqr Pada Pengelasan Material a333 Dan X65 Pt X,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, vol. 5, no. 1, pp. 1575–1584, 2025, doi: 10.53026/prosidingsntem.v5i1.817.
- [7] S. Aws *et al.*, “Veronika , Rika , dkk ; Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36 6 Veronika , Rika , dkk ; Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36,” vol. 9, no. 2, pp. 5–14, 2023, [Online]. Available: <https://www.journal.ubb.ac.id/index.php/machine/article/view/3659/2263>
- [8] T. A. Jr, A. Nadiroh, F. H. Ginting, and Ayende, “Pengembangan Welding Procedure Specification (Wps) Untuk Pengelasan Tangki Bahan Bakar Dengan Proses Smaw: Analisis Parameter Dan Pengujian Mekanik,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, vol. 5, no. 1, pp. 809–821, 2025, doi: 10.53026/prosidingsntem.v5i1.642.
- [9] M. Major, J. Nawrot, and I. Major, “Structural S235 and S355 Steels - Numerical Analysis of Selected Rods Connection,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 585, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/585/1/012007.
- [10] A. Rifaldi, A. U. Ryadin, and A. R. Hakim, “Pengaruh Suhu Preheating Terhadap Kekuatan Tarik Aan Kekerasan Pelat Baja Astm A36 i .,” vol. 4, no. 1, pp. 81–90, 2021, [Online]. Available: <https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/sigmateknika/article/view/3216/pdf>
- [11] ASTM International, *ASTM E23-18: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, West Conshohocken, PA, USA, 2018.