

Analisis Radiography dan Macro Structure Baja Karbon EH36 dengan Grade A Terhadap Hasil Pengelasan FCAW Variasi Ampere

Risriki Widodo^{1,*}, Purwanto¹, Siswadi¹

¹Program Studi Teknik Transportasi Laut, Universitas Maritim AMNI Semarang
Jl. Soekarno Hatta No. 180, Palebon, Kec. Pedurungan, Kota Semarang, Jawa Tengah 50246
Email korespondensi: risrikiwidodoo@gmail.com

Abstrak

Bangunan atas kapal atau biasa disebut *superstructure* dalam fabrikasi pengelasan ditemukan permasalahan yang timbul akibat dari proses pengelasan. Permasalahan yang ditimbulkan akibat pengelasan seperti cacat (*defect*) di sepanjang jalur lasan. Cacat (*defect*) yang berada didalam lasan membutuhkan pengujian *radiography* dan *structure macro* untuk melihat indikasi yang timbul seperti *porosity*, *slag inclusion* dan *incomplete fusion*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil pengelasan *Flux Cored Arc Welding (FCAW)* antara material *carbon steel Grade EH36* dengan *Grade A*. Tipe sambungan yaitu *V Groove* dan untuk *backing* material menggunakan *ceramic strip* tanpa *gouging*. Proses penelitian yang telah dilakukan meliputi pengelasan kedua material dengan menggunakan parameter 160 A, 200 A dan 250 A. Pengujian *Non-Destructive Test (NDT)* yang digunakan yaitu *Radiography Test* sedangkan pengujian *Destructive Test (DT)* yaitu *Macro Structure Test*, keduanya bertujuan untuk menemukan indikasi cacat (*defect*) didalam lasan. Kesimpulan yang ditemukan setelah dilakukan uji *Radiography* dan *Macro Structure* tidak ditemukan indikasi cacat (*defect*) pada hasil lasan (*weld metal*) pada variasi parameter 160 Ampere, 200 Ampere dan 250 Ampere.

Kata Kunci: Ampere, Defect, FCAW, Macro Structure, Radiography.

Abstract

The structure on the ship, commonly referred to as the *superstructure*, faces problems in welding fabrication due to the welding process. Issues arising from welding include defects along the weld seam. Defects within the weld require *radiography* and *macro structure* testing to identify indications such as *porosity*, *slag inclusion*, and *incomplete fusion*. The aim of this research is to determine the welding results of *Flux Cored Arc Welding (FCAW)* between *carbon steel Grade EH36* and *Grade A*. The joint type is *V Groove*, and the backing material uses a *ceramic strip* without *gouging*. The research process involved welding both materials using parameters of 160 A, 200 A, and 250 A. The *Non-Destructive Test (NDT)* used was *Radiography Test*, while the *Destructive Test (DT)* was *Macro Structure Test*, both aimed at detecting indications of defects within the weld. The conclusion drawn after conducting *Radiography* and *Macro Structure* tests was that no indications of defects were found in the weld metal at the parameter variations of 160 Amperes, 200 Amperes, and 250 Amperes.

Keywords: Ampere, Defect, FCAW, Macro Structure, Radiography.

1. Pendahuluan

Las merupakan suatu cara untuk menyambung logam dengan proses mencairkan logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa menggunakan tekanan untuk menghasilkan sambungan yang kontinu [1]. Kualitas hasil lasan pada proses fabrikasi kapal menjadi persoalan yang krusial dikarenakan akan berpengaruh langsung terhadap proses *assembly* dan *finishing* jika sewaktu proses pengelasan ditemukan banyak cacat (*defect*). Baja karbon (*carbon steel*) sering menjadi material yang dipilih untuk pembangunan sebuah kapal dikarenakan stok yang melimpah dan tidak membutuhkan penanganan khusus. Hasil proses pengelasan dibagi menjadi 3 bagian yaitu *Base Metal*, *Heat Affected Zone* dan *Weld Metal*. Cacat las atau *defect* diakibatkan dari proses pengelasan yang tidak sesuai standar dari

ASME, ISO, AWS dan lainnya. Cacat las dapat berupa lubang cacing (*wormholes*), porositas (*porosity*), inklusi terak (*slag inclusion*) dan cacat-cacat lainnya.

Baja karbon adalah baja yang menggunakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C). Selain karbon, sering juga ditambahkan unsur chrom (Cr), nikel (Ni), vanadium (V), molybdaen (Mo) untuk mendapatkan sifat lain sesuai aplikasi dilapangan [2]. Sifat baja karbon sangat tergantung pada kadar karbonnya, bila kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasannya juga bertambah tetapi elongasi menurun [3].

Flux Cored Arc Welding (FCAW) merupakan metode las yang menggunakan kawat las (*filler*) yang didalamnya terdapat fluks serta digerakkan dengan bantuan arus Listrik. Las FCAW adalah proses otomatis yang memanfaatkan elektroda *wire roll*

untuk mencairkan logam [4]. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui hasil pengujian radiography dan *macro structure* pada hasil lasan (*weld metal*) baja karbon *Grade EH36* dengan *Grade A* menggunakan metode pengelasan FCAW dengan variasi 160 A, 200 A dan 250 A.

2. Metode

Metode penelitian adalah proses untuk menghasilkan data penelitian dari objek yang diteliti. Alur penelitian dalam penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan spesimen uji dan dilanjutkan dengan pemotongan spesimen. Proses berikutnya adalah mempersiapkan alat-alat kerja pengelasan. Proses pengelasan FCAW dilakukan setelah alat dan bahan tersedia di area kerja. Proses pendinginan spesimen dilakukan setelah semua spesimen selesai dilakukan pengelasan dan dilanjutkan pembentukan (*machining*) benda uji. Proses terakhir adalah pengujian benda uji menggunakan *radiography test* dan *structure macro test*.

Heat Input

Heat input adalah perpindahan energi panas per satuan panjang pada proses pengelasan. Energi panas diakibatkan oleh parameter pengelasan yaitu arus, tegangan, sentuhan elektroda dengan logam induk dan kecepatan pengelasan. *Heat input* merupakan faktor penting dalam pengelasan karena dapat mempengaruhi laju pendinginan. Laju pendinginan akan berperan pada pembentukan struktur metalurgi daerah HAZ dan *weld metal* serta sifat mekanis dari sambungan [5].

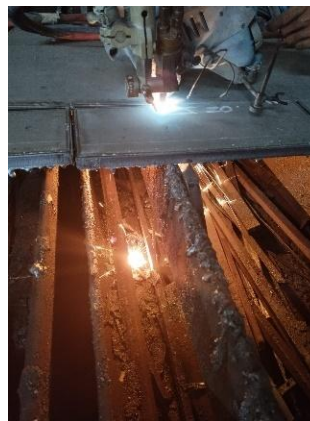
Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Flux Cored Arc Welding (FCAW) atau sering juga disebut sebagai MIG/MAG dengan inti serbuk adalah salah satu teknik pengelasan yang menggunakan elektroda berupa kawat berinti serbuk (*flux core*) untuk menyambungkan material logam dengan menggunakan busur Listrik [6].

Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan jumlah spesimen baja karbon *Grade EH36* dengan jumlah 3 kupon dan spesimen baja karbon *Grade A* dengan jumlah 3 kupon.

Proses Persiapan dan Pemotongan Bahan

Material baja karbon *Grade EH36* dan baja *Grade A* dilakukan identifikasi sesuai *hit number* yang tertera di *mill test certificate*. Pemotongan menggunakan *cutting gas oxy-acetylene* secara manual dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 24 mm sejumlah 3 kupon untuk baja karbon EH36 dan baja karbon *Grade A* dengan dimensi 400 mm x 145 mm x 16 mm. Pembentukan *bevel* dilakukan bersamaan dengan proses pemotongan bahan, sudut *bevel* yang digunakan adalah 20°. Pemotongan *extension bar* dengan *bevel* 20° sebanyak 12 buah dan *strongback* dengan jumlah 6 buah.



Gambar 1. Pemotongan Spesimen

Proses Persiapan Alat

Alat-alat yang digunakan untuk proses pengelasan antara lain mesin FCAW OTC Dyna Auto XD-500SII, tabung gas *Carbon Dioxide* 100%, *Wire Roll* ESAB (SFA/AWS A5.20 E71T-1C/9C-J), *Welding Gauge*, *Tapper*, Gerinda Tangan, *IR Thermometer*, *Chipping Hammer*, dan Alat Pelindung Diri (APD).



Gambar 2. Mesin las FCAW

Proses Pengelasan Flux Cored Arc Welding (FCAW)

Proses pengelasan diawali dengan melakukan *fit up* spesimen yang telah digerinda dengan metode *tack weld* untuk menggabungkan spesimen dengan *extension bar* dan *strongback*. Melakukan pengaturan aliran *flow rate* pada 15 L/min dan pengaturan ampere sesuai variasi yang digunakan. Proses pengelasan FCAW dilakukan pada posisi 1G. Berikut langkah kerja dari metode pengelasan FCAW:

1. Laksanakan pemasangan *backing ceramic* pada sambungan plat
2. Laksanakan benda kerja pada posisi 1G
3. Melaksanakan pengelasan *root pass* dengan teknik *backhand*
4. Melaksanakan *filling* 1 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual
5. Melaksanakan *filling* 2 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual

6. Melaksanakan *filling* 3 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual
7. Melaksanakan *filling* 4 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual
8. Melaksanakan *capping* 1 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual
9. Melaksanakan *capping* 2 dengan teknik *backhand* dilanjutkan *interpass cleaning* dan pengamatan visual
10. Melaksanakan pengukuran dan pencatatan hasil lasan



Gambar 3. Proses Pengelasan Spesimen

Proses Pendinginan dan Pembentukan Spesimen Uji

Spesimen yang akan dilakukan uji radiografi cukup didinginkan supaya hasil lasan *yield* selama 2 x 24 jam sedangkan spesimen yang akan dilakukan uji struktur makro dilakukan proses *cutting*, *machining* dan *milling* untuk membentuk spesimen uji sesuai standar yang digunakan.



Gambar 4. Hasil Machining Benda Uji Macro Structure

Proses Pengujian Radiography

Pengujian *radiography* dilakukan untuk mendeteksi diskontinuitas dibawah permukaan lasan dengan radiasi sinar X atau sinar gamma. Pada pengujian ini menggunakan teknik penyinaran (*exposure*) yaitu *single wall exposure single viewing* (SWSV) dengan tipe film D7 yang mempunyai dimensi 4 x 15 In. Waktu penyinaran (*exposure*) 90 detik dan menggunakan isotop iridium 192.

Proses Pengujian Macro Structure

Pengujian *Macro Structure* dilakukan untuk mendeteksi cacat visual dibawah pembesaran 5X dengan penggunaan kertas gosok hingga *grit* 400 dan menggunakan larutan asam nitrat 5-10%. Pada

pengujian struktur makro terdapat 3 daerah lasan yang disebut logam induk (*base metal*), *heat affected zone* (HAZ) dan daerah lasan (*weld metal*). Dokumentasi hasil uji makro menggunakan lensa kamera untuk mempermudah pengamatan dan analisis.

3. Hasil dan Pembahasan

Spesimen hasil pengelasan antara material *Grade* EH36 dengan material *Grade* A yang telah dilakukan pengujian radiografi dan struktur makro akan dilakukan analisis sebagai berikut:

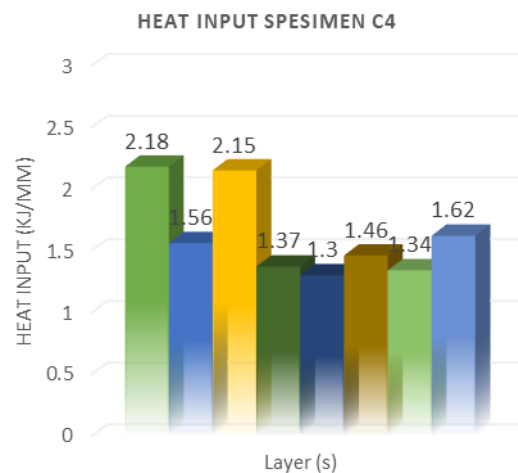
Analisis Heat Input

Heat input disebabkan oleh faktor kecepatan, tegangan dan arus selama proses pengelasan, spesimen diberikan kodifikasi untuk mempermudah dalam eksperimen dan analisis data. Spesimen C4 untuk variasi 160 A, spesimen C5 untuk variasi 200 A dan spesimen C6 untuk variasi 250 A. Rumus *heat input* sebagai berikut:

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{volts} \times \text{ampere}}{\text{travel speed (mm/sec)} \times 1000} \quad (1)$$

Tabel 1. Tabel Hasil Heat Input Spesimen C4

Layer (s)	Ampere (A)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	160	111,94	2,18
Filling 1	160	153,85	1,56
Filling 2	160	111,52	2,15
Filling 3	160	175,44	1,37
Filling 4	160	185,19	1,3
Capping 1	160	163,93	1,46
Capping 2	160	178,57	1,34
Rata-rata			1,62



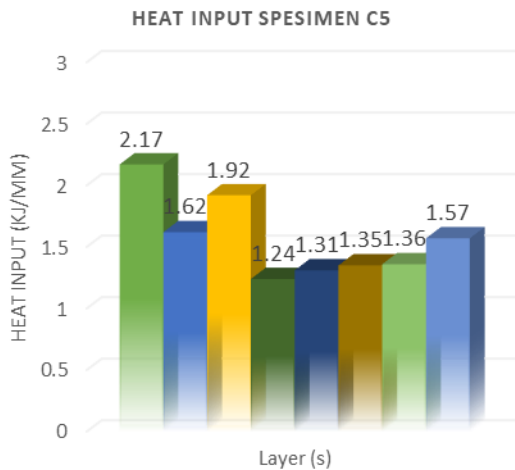
Gambar 5. Grafik Heat Input Spesimen C4

Heat input yang terekam peneliti selama proses pengelasan pada lapisan *layer root heat input* sebesar 2,18 kJ/mm, pada *filling 1 heat input* sebesar 1,56 kJ/mm, pada *layer filling 2 heat input* sebesar 2,15

kJ/mm, pada *layer filling 3 heat input* sebesar 1,37 kJ/mm, pada *layer filling 4 heat input* sebesar 1,3 kJ/mm, pada *layer capping 1 heat input* sebesar 1,46 kJ/mm dan untuk *layer capping 2 heat input* sebesar 1,34 kJ/mm. Rata-rata *heat input* pada spesimen C4 dengan variasi 160 A yaitu 1,62 kJ/mm.

Tabel 2. Tabel Hasil Heat Input Spesimen C5

Layer (s)	Ampere (A)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	200	163,04	2,17
Filling 1	200	212,77	1,62
Filling 2	200	200	1,92
Filling 3	200	303,03	1,24
Filling 4	200	225,56	1,31
Capping 1	200	252,1	1,35
Capping 2	200	258,62	1,36
Rata-rata			1,57



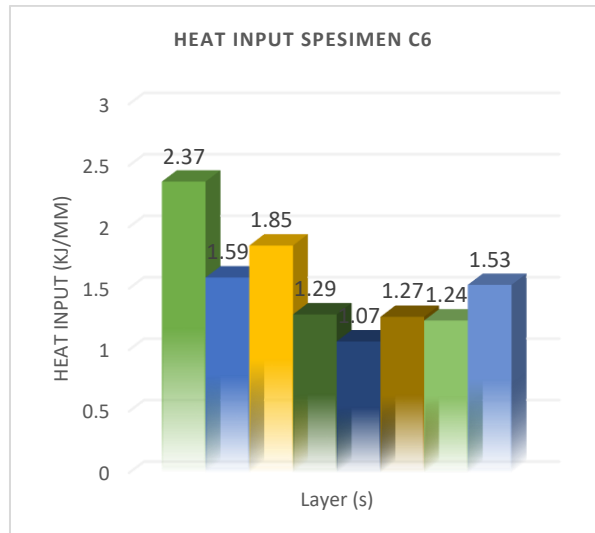
Gambar 6. Grafik Heat Input Spesimen C5

Heat input yang terekam peneliti selama proses pengelasan pada lapisan *layer root heat input* sebesar 2,17 kJ/mm, pada *filling 1 heat input* sebesar 1,62 kJ/mm, pada *layer filling 2 heat input* sebesar 1,92 kJ/mm, pada *layer filling 3 heat input* sebesar 1,24 kJ/mm, pada *layer filling 4 heat input* sebesar 1,31 kJ/mm, pada *layer capping 1 heat input* sebesar 1,35 kJ/mm dan untuk *layer capping 2 heat input* sebesar 1,36 kJ/mm. Rata-rata *heat input* pada spesimen C5 dengan variasi 200 A yaitu 1,57 kJ/mm.

Tabel 3. Tabel Hasil Heat Input Spesimen C4

Layer (s)	Ampere (A)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (kJ/mm)
Root	250	182,93	2,37
Filling 1	250	272,73	1,59
Filling 2	250	234,38	1,85
Filling 3	250	337,08	1,29
Filling 4	250	405,41	1,07

Capping 1	250	340,92	1,27
Capping 2	250	348,84	1,24
Rata-rata			1,53



Gambar 7. Grafik Heat Input Spesimen C6

Hasil *heat input* yang terekam peneliti selama proses pengelasan pada lapisan *layer root heat input* sebesar 2,37 kJ/mm, pada *filling 1 heat input* sebesar 1,59 kJ/mm, pada *layer filling 2 heat input* sebesar 1,85 kJ/mm, pada *layer filling 3 heat input* sebesar 1,29 kJ/mm, pada *layer filling 4 heat input* sebesar 1,07 kJ/mm, pada *layer capping 1 heat input* sebesar 1,27 kJ/mm dan untuk *layer capping 2 heat input* sebesar 1,24 kJ/mm. Rata-rata *heat input* pada spesimen C6 dengan variasi 250 A yaitu 1,53 kJ/mm.

Analisis Radiography

Hasil pengujian radiografi pada hasil lasan antara baja karbon Grade EH36 dengan Grade A dengan teknik penyinaran *single wall exposure single viewing* (SWSV) sebagai berikut:

Tabel 4. Tabel Hasil Uji Radiography

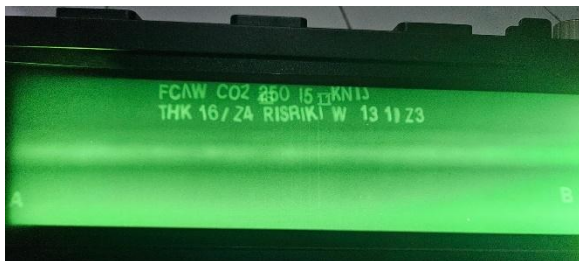
RADIOGRAPHY EXAMINATION REPORT			
Isotope : Ir-192		Activity : 15 Ci	
Exposure : 90 sec		Material type: Carbon Steel	
Weld Identification	Thickness	Type of Indication	Result
Spesimen C4	24/16	-	ACC
Spesimen C5	24/16	-	ACC
Spesimen C6	24/16	-	ACC



Gambar 8. Foto Radiography Spesimen C4



Gambar 9. Foto Radiography Spesimen C5



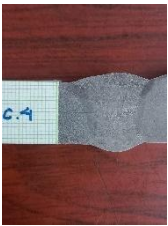
Gambar 10. Foto Radiography Spesimen C6

Hasil interpretasi film radiografi pada hasil pengelasan FCAW spesimen C4 tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Hasil interpretasi film radiografi pada hasil pengelasan FCAW spesimen C5 tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Hasil interpretasi film radiografi pada hasil pengelasan FCAW spesimen C6 tidak ditemukan diskontinuitas di area pengelasan (*weld metal*). Semua spesimen hasil pengelasan FCAW dinyatakan memenuhi standar berketerimaan ASME section IX paragraf QW 191.1.2 [7].

Analisis Macro Structure

Pengujian ini bertujuan mengetahui fusi lasan dan cacat pengelasan pada daerah *weld metal*. Material yang digunakan adalah baja karbon *Grade EH36* dengan *Grade A* dengan variasi 160 A, 200 A dan 250 A. hasil pengujian *macro structure* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Uji Macro Structure Spesimen C4

Gambar	Keterangan	
	Test Piece	Spesimen
	Identification	C4
	Ampere	160
	Fusion	OK
	Weld Metal	OK
	Defect Size	-
	Result	ACCEPT

Tabel 6. Hasil Uji Macro Structure Spesimen C5

Gambar	Keterangan	
	Test Piece	Spesimen
	Identification	C5
	Ampere	200
	Fusion	OK
	Weld Metal	OK
	Defect Size	-
	Result	ACCEPT

Tabel 7. Hasil Uji Macro Structure Spesimen C6

Gambar	Keterangan	
	Test Piece	Spesimen
	Identification	C6
	Ampere	250
	Fusion	OK
	Weld Metal	OK
	Defect Size	-
	Result	ACCEPT

Hasil uji struktur makro pada hasil lasan antara material *Grade EH36* dengan *Grade A* pada spesimen C4 pada variasi 160 A untuk fusi las, HAZ, *weld metal* terlihat jelas dan tidak ditemukan indikasi *defect*. Spesimen C5 pada variasi 200 A untuk fusi las, HAZ, *weld metal* terlihat jelas dan tidak ditemukan indikasi *defect*. Spesimen C6 pada variasi 250 A untuk fusi las, HAZ, *weld metal* terlihat jelas dan tidak ditemukan indikasi *defect*.

4. Kesimpulan

Hasil dari pengujian *radiography* dan *macro structure* pada hasil lasan baja karbon *Grade EH36* dengan *Grade A* menggunakan metode FCAW dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil analisis rata-rata *heat input* pada spesimen C1 sebesar 1,57 kJ/mm, rata-rata *heat input* spesimen C2 sebesar 1,60 kJ/mm dan rata-rata *heat input* spesimen C3 sebesar 1,67 kJ/mm. Nilai rata-rata *heat input* (masukan panas) mengalami kenaikan sesuai dengan perubahan variasi ampere, semakin tinggi parameter ampere yang digunakan maka semakin tinggi nilai rata-rata *heat input*. Hasil analisis pengujian *radiography* tidak ditemukan diskontinuitas pada area pengelasan (*weld metal*) pada spesimen C1, spesimen C2 dan spesimen C3. Semua hasil pengelasan FCAW antara baja karbon *Grade EH36* dengan *Grade A* memenuhi standar berketerimaan ASME section IX. Hasil analisis pengujian *macro structure* tidak ditemukan indikasi *defect* pada *weld metal* dan *fusion line* pada spesimen variasi 160 A, 200 A dan 250 A. penelitian lebih lanjut diperlukan dengan melakukan variasi parameter pengelasan.

Ucapan Terima Kasih

Kepada seluruh jajaran PT. PAL Indonesia dan pihak-pihak terkait, penulis mengucapkan terima kasih atas

dukungan yang diberikan selama penelitian berlangsung.

Daftar Pustaka

- [1] Sonawan H. dan Suratman R, *Pengantar Untuk Memahami Proses Pengelasan Logan*. Bandung: ALFA BETA, 2004.
- [2] Y. S. Hadiwidodo, *Perancangan Struktur Baja*. Surabaya: Sinar Gramedia, 2017.
- [3] Wiryosumarto, Harsono, dan T. Okumura, *Teknologi Pengelasan Logam*, 8th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.
- [4] Dora, R. S. P., *Analisa Kekuatan Material SS400 Pengaruh Preheat dan PWHT dengan Menggunakan Metode Simulasi dan Uji Tarik*. 2011.
- [5] M.I. R. Yuniarto dan H. Pratikno, “Analisis Pengaruh Variasi Heat Input Pengelasan FCAW Pada Sambungan Baja BKI Grade A Terhadap Sifat Mekanik,” vol. 8, no. 2 p. 6, 2019.
- [6] P. Hariprasath, P. Sivaraj, V. Balasubramanian, S. Pilli, and K. Sridhar, “Evaluation pf High Cycle Fatigue Behavior of Flux Cored Arc Welded Naval Grade DMR₂₄₉ A Grade Steel Joints for Ship Hull Structures,” *Forbes Mech.*, vol. 11, no. 1 pp. 56-67, 2023.
- [7] ASME Section IX, *Qualification Standard for Welder, Brazers and Fusing Operators*, vol. 9. New York: The American Society of Mechanical Engineers New York, 2015.