

Analisis Perbandingan Waktu dan Kualitas Hasil Pengelasan FCAW Manual dengan FCAW Robotik pada Panel Main Deck Kapal Barge 330 Ft di PT XYZ

Anggi Sherina K^{*1}, Nurul Ulfah, S.Si., M.T 1^{*} and Veryawan Nanda Perkasa, S.T., M.Han 2.^{*}

*** Politeknik Negeri Batam**

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

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

¹E-mail: kumaladewianggi8@gmail.com

Abstrak

Penelitian yang bertujuan untuk menganalisis dari perbandingan efisiensi waktu dan kualitas hasil pengelasan antara proses FCAW Manual dengan FCAW *Robotic* pada pekerjaan *panel main deck* di PT XYZ. Penggunaan diameter pada wire yang digunakan sama yaitu 1,2 mm, namun berbeda dalam merek dan system aplikasinya. Penelitian dilakukan dengan observasi langsung di lapangan, wawancara dengan pihak-pihak yang terkait, serta inspeksi visual yang berdasarkan standar AWS D1.1 untuk mengidentifikasi jenis *defect* seperti *porosity*, *undercut* dan *lack of fusion*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pengelasan manual lebih cepat dibandingkan dengan proses pengelasan *robotic*, namun hal ini disebabkan adanya gangguan teknis pada mesin robot yang menyebabkan keterlambatan selama 30 menit. Dari segi kualitas hasil, pengelasan *robotic* menghasilkan jumlah *defect* yang lebih sedikit dibandingkan dengan proses pengelasan manual. Proses *robotic* juga menunjukkan konsistensi yang lebih baik dalam posisi pengelasan 2F dan 3F, tetapi posisi pengelasan manual lebih fleksibel dalam berbagai posisi. Dengan demikian proses pengelasan *robotic* ini lebih unggul dari sisi kualitas hasil dan memiliki potensi efisiensi waktu yang lebih tinggi apabila sistem berjalan dengan normal tanpa ada kendala teknis. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri perkapalan dalam meningkatkan produktivitas dan mutu hasil pengelasan.

Kata kunci: FCAW, Pengelasan Robotik, Pengelasan Manual, Main Deck, Kualitas hasil las, Efisiensi Waktu

Abstract

This study aims to analyze the comparison of time efficiency and weld quality between the FCAW manual process and FCAW robotic process on main deck panel fabrication work at PT XYZ. Both methods used the same wire diameter of 1.2 mm, but differed in brand and application system. The research was conducted through direct field observations, interviews with related personnel, and visual inspections based on the AWS D1.1 standard to identify types of defects such as porosity, undercut, and lack of fusion. The results showed that the manual welding process was faster than the robotic process; however, this was due to a technical issue with the robotic machine, which caused a delay of 30 minutes. In terms of weld quality, robotic welding produced fewer defects compared to manual welding. The robotic process also demonstrated better consistency in 2F and 3F welding positions, while manual welding was more flexible and applicable in various positions. Therefore, robotic welding is superior in terms of weld quality and has the potential for higher time efficiency if the system operates normally without technical interruptions. This research is expected to serve as a reference for the shipbuilding industry in improving productivity and welding quality.

Keywords : FCAW, robotic welding, manual welding, main deck, weld quality, time efficiency

1 Pendahuluan

Panel Main deck (geladak utama) adalah struktur konstruksi yang vital karena perannya dapat berfungsi ganda, yaitu sebagai pondasi struktur di atasnya dan sebagai penutup serta pelindung ruang di bawahnya, dan juga berperan dalam menambah kekakuan memanjang kapal. *Main deck* merupakan lantai pada kapal yang berfungsi untuk menampung muatan dan umumnya terdapat hampir di seluruh kapal, yang dibedakan berdasarkan fungsinya. [1] Alasan dari penggunaan dua metode tersebut yaitu, pengelasan manual memiliki fleksibilitas yang tinggi, biaya awal yang rendah, serta tidak memerlukan investasi besar untuk robot dan sistemnya yang otomatis, adaptif yang memungkinkan operator dapat menyesuaikan teknik secara *real-time* tergantung kondisi yang ada di lapangan. Jika pengelasan itu menggunakan *robotic*, maka tingkat presisi yang tinggi seperti konsistensi dan kualitas sambungan yang sama, produktivitas yang tinggi ditunjukkan melalui waktu kerja yang lebih cepat dan kemampuan untuk beroperasi dalam durasi panjang secara berkelanjutan, dengan pengaturan waktu kerja yang optimal untuk menjaga kinerja mesin. Selain itu, proses ini dapat meminimalisir risiko kecelakaan kerja, meningkatkan efisiensi biaya jangka panjang, serta menekan biaya produksi. [2]

Pada penelitian ini, proses pengelasan yang digunakan yaitu FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), yaitu proses pengelasan yang menggunakan *wire continue*, di mana inti dari fluksi tersebut menjadi pelindung cairan las tersebut, kemudian membentuk terak tipis setelah cairan las beku. [3] Terdapat beberapa jenis *defect* yang umum terjadi, yaitu *porosity* yang biasa terjadi karena kontaminasi permukaan yang kotor, berkarat, dan basah, kemudian arus yang digunakan terlalu rendah, gas pelindung terganggu seperti bocor, dan tidak stabil serta terkena angin. Selanjutnya *undercut* yang biasa terjadi karena arus yang terlalu tinggi, kecepatan las yang terlalu cepat sehingga tidak memberi waktu yang cukup bagi logam untuk menutup sisi kampuh, sudut elektroda yang salah, jika sudut elektroda terlalu tegak atau miring maka logam las bisa terdorong hanya di satu sisi saja, teknik ayunan (*weaving*) yang buruk atau gerakan tangan yang tidak stabil atau terlalu lebar. *Lack of fusion* (LoF) biasa terjadi disebabkan oleh panas las (*heat input*) terlalu rendah, kecepatan las terlalu tinggi, sudut elektroda yang tidak benar, *slag* tidak dibersihkan, dan *overlapping layer* atau lapisan las yang terlalu menumpuk tanpa peleburan. Dan terakhir ada *spatter* atau partikel-partikel logam cair yang terlempar keluar dari kolam las akibat energi busur yang terlalu tinggi atau aliran gas pelindung yang tidak stabil. [4]

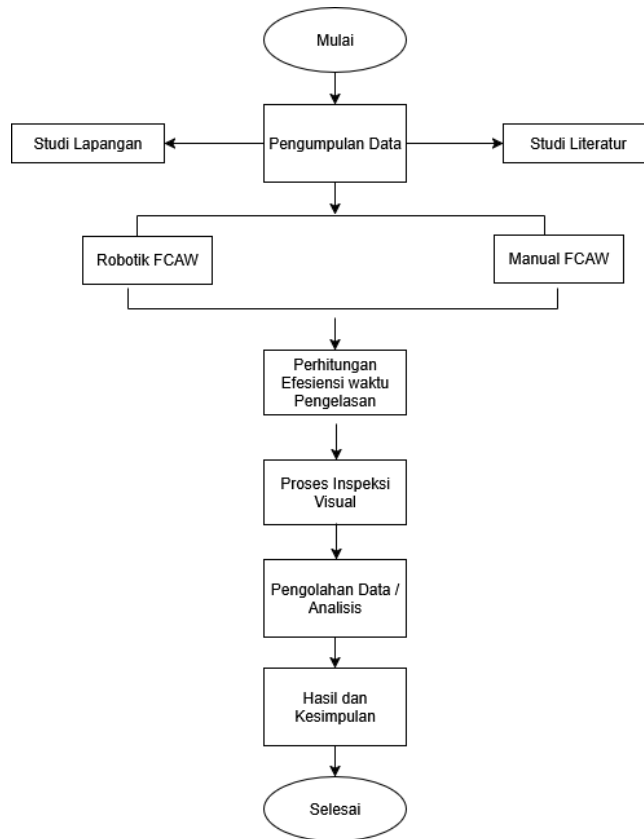
Mesin pengelasan *robotic* merupakan teknologi otomasi yang berfungsi untuk melaksanakan proses pengelasan secara sistematis dan terprogram. Penggunaan mesin ini memungkinkan pencapaian hasil pengelasan yang lebih presisi, stabil, dan konsisten. Selain itu, mesin pengelasan *robotic* mampu meningkatkan efisiensi proses produksi melalui pengaturan kecepatan dan jalur pengelasan yang terkontrol. Dengan kemampuan tersebut, diperlukan penelitian untuk mengkaji kinerja mesin pengelasan robotik, khususnya dalam hal waktu pengerjaan dan kualitas hasil pengelasan di lingkungan industri.

Masalah utama yang dihadapi pada pengelasan manual yaitu keterbatasan konsistensi sehingga kualitas tidak selalu konsisten, produktivitas yang lebih rendah, keselamatan dan risiko kesehatan dari pekerja, tenaga kerja yang terampil sehingga membutuhkan tenaga kerja yang mempunyai keahlian khusus untuk dapat melakukan pekerjaan pengelasan dengan standar yang lebih tinggi. Kemudian masalah utama pada metode pengelasan *robotic* yaitu biaya investasi awal yang lebih besar, keterbatasan yang fleksibel, dan ketergantungan pada teknologi yang memerlukan tenaga ahli untuk pemrograman dan perawatan robot tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk fabrikasi panel main deck dengan menggunakan pengelasan *robotic* dan pengelasan manual di lapangan dan juga untuk mengetahui hasil pengelasan dan untuk menentukan metode manakah yang dapat memberikan hasil yang lebih optimal dari segi waktu dan kualitas hasil pengelasan. Selain itu, hasil ini dapat menjadi referensi dalam industri perkapalan, terutama di salah satu shipyard yang ada di daerah Sagulung, untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas konstruksi kapal. Penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data secara langsung di lapangan, wawancara dengan pihak-pihak terkait. Kemudian data yang didapatkan diolah untuk mendapatkan hasil yang akurat dan relevan, sehingga dapat digunakan untuk mengambil keputusan. Penelitian ini dibatasi dengan fokus perbandingan antara proses pengelasan FCAW manual dengan FCAW *robotic*, aspek yang dianalisis hanya meliputi efisiensi waktu pengerjaan dan kualitas hasil pengelasan yang berdasarkan temuan cacat visual yang muncul, proses inspeksi hanya dilakukan inspeksi visual, tidak membahas aspek biaya secara detail, proses repair yang terjadi setelah inspeksi pertama tidak dilakukan inspeksi ulang.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut yang merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian. Dimulai dari pengumpulan data dengan cara studi lapangan dan studi literatur, perhitungan efesiensi waktu pengelasan robotik dan manual, proses inspeksi, pengolahan data atau analisis, hasil dan Kesimpulan. Alur dapat ditampilkan dengan *flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metodologi Penelitian

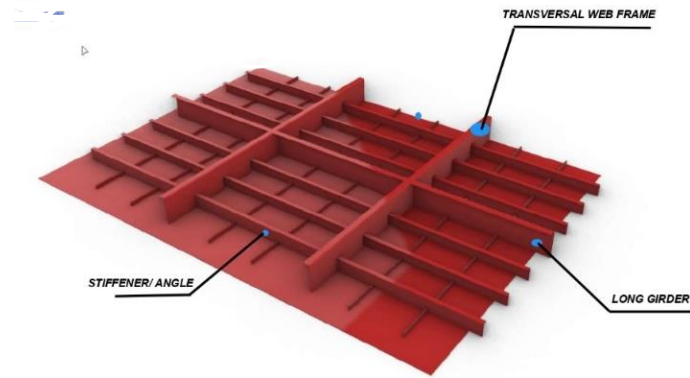
Tahapan Penelitian adalah sebagai berikut:

2.2 Pengumpulan Data

Pada proses ini terdiri dari studi lapangan dan studi literatur. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data berupa gambar dan ukuran material secara umum, spesifikasi mesin yang akan digunakan, jenis *wire* atau kawat las yang digunakan, serta laporan yang memuat durasi proses pengelasan tersebut. Data ini diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara dengan pihak-pihak yang terlibat dalam proses pengelasan dan inspeksi sebanyak enam orang, yaitu 3 orang *welder*, 2 orang *QC*, dan 1 orang *supervisor*. Pertanyaan yang diajukan mencakup durasi yang dibutuhkan dalam proses pengelasan, spesifikasi mesin dan jenis kawat las (*wire*) yang digunakan, jumlah penggunaan kawat las dan gas CO₂ dalam proses pengerjaan *panel main deck*, serta jumlah tenaga kerja (*man power*) yang terlibat dalam proses tersebut.

2.2.1 Detai Panel

Gambar 2 dibawah merupakan bentuk 3d model struktur dari *panel main deck* yang akan menjadi objek penelitian ini.



Gambar 2. 3D Model Struktur *Panel Main Deck*

2.2.2. Spesifikasi Mesin

Untuk mendukung proses pengelasan pada peneltian ini, digunakan dua jenis mesin dengan pengelasan FCAW, yaitu mesin manual dan *robotic*. Untuk spesifikasi lengkap dari kedua mesin tersebut di tampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

Kategori	FCAW Manual (OTC CM-9202)	FCAW <i>Robotic</i> (DAIHEN FD-B6L)
		
Jenis Mesin	<i>Wire Feeder Manual</i>	Robot Pengelasan Otomatis
Metode Pengelasan	FCAW (<i>Flux-Cored Arc Welding</i>)	FCAW (<i>Flux-Cored Arc Welding</i>)
Model	CM-9202	FD-B6L
Pabrikan	<i>OTC - DAIHEN Corporation</i>	<i>DAIHEN Corporation</i>
Tahun Produksi	2024	Dirilis 2017
Tegangan Input	DC 24V	483V AC (untuk servomotor)
Berat Mesin	Tidak tercantum di label	27 kg
Sistem Kendali	Manual (pengaturan via knob & pengatur tegangan kawat)	Otomatis (servomotor & absolute encoder)
Fitur Tambahan	Portable, kontrol kecepatan kawat	desain ringkas, kabel terintegrasi, siklus kerja cepat, dan struktur kuat

2.2.3 Jenis Wire

Tabel 2 menyajikan jenis kawat las, diameter wire yang digunakan, serta komposisi pada proses pengelasan *panel main deck*. Kedua proses nya yaitu manual dan *robotic* yang menggunakan *wire* atau kawat las yang sama.

Tabel 2. Jenis Wire dan Penggunaan

ϕ WIRE	FOTO	MERЕК	TONAGE	KETERANGAN	KOMPOSISI	SUMBER
1,2 mm		1,2 mm	250 kg	<i>Robotic weld</i>	C 0,07% Mn 1,53%, Si 0,86%, P 0,012%.	Pedoman Teknis Sinar Unggul
1,2 mm		1,2 mm	15 kg	<i>Manual weld</i>	C 0,06% Mn 1,35%, Si 0,52%, P 0,020%.	Pedoman Teknis Sinar Unggul

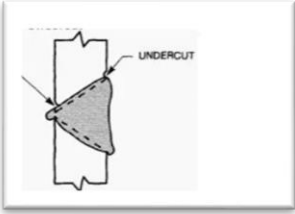
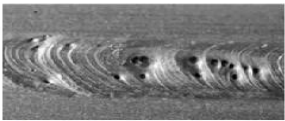
Dalam proses pengelasan *panel Maindeck*, penggunaan diameter *wire* keduanya yaitu 1,2mm karena mampu memberikan daya leleh (penetrasi) yang baik dan control yang stabil saat digunakan pada baja berukuran sedang hingga tebal, seperti *panel main deck*. [7] Diameter ini juga mendukung efisiensi kerja karena memiliki laju pengendapan yang tinggi dan stabilitas kawat yang baik. Selain itu, diameter ini merupakan standar dari Perusahaan yang mudah di peroleh dan kompatibel dengan berbagai peralatan pengelasan. Dalam penelitian ini digunakan dua jenis kawat las FCAW, yaitu *Kisswel K-71T* dan *Antech JL-YJQ5011*, yang keduanya diperuntukkan bagi pengelasan baja karbon rendah dengan metode FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*). Pemilihan kedua jenis kawat tersebut didasarkan pada ketersediaan dari PT Sinar Unggul Pratama.

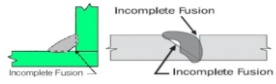
2.2.4 Jenis Defect

Posisi pengelasan yang digunakan pada proses pengelasan manual yaitu 2F, 3F, 1G, dan 4F. Tetapi pada proses pengelasan *robotic* hanya 2F (*Horizontal Fillet*) dan 3F (*Vertical Fillet*). Dikarenakan kemampuan dari pergerakan *robotic* yang memiliki jangkauan terbatas dan bekerja secara optimal pada posisi yang mudah di akses seperti *horizontal* dan *vertical*. Selain itu, desain dan proses fabrikasi sudah agar memungkinkan robot melakukan pengelasan dalam posisi tersebut tanpa perlu banyak reposisi atau penyesuaian sudut. Identifikasi cacat las mengacu pada standar AWS D1.1 yang juga selaras dengan ketentuan dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)

Dalam penelitian ini, cacat pengelasan yang ditemukan hanya berupa *porosity*, *undercut*, dan *lack of fusion* karena ketiga jenis cacat tersebut merupakan cacat yang paling umum terjadi pada proses pengelasan FCAW. Hal ini disebabkan oleh karakteristik FCAW yang rentan terhadap gangguan aliran gas pelindung, pengaturan parameter seperti arus dan kecepatan las yang kurang tepat, serta teknik pengelasan yang tidak konsisten. Selain itu, proses inspeksi yang dilakukan hanya menggunakan metode visual, sehingga hanya cacat permukaan yang dapat terdeteksi, sementara cacat lain yang memerlukan metode uji tidak merusak tidak dapat diidentifikasi dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan dua acuan yaitu AWS D1.1 dan BKI dikarenakan AWS D1.1 memberikan standar yang lebih rinci terhadap evaluasi cacat pengelasan, sedangkan BKI digunakan sebagai dasar klasifikasi kapal yang mengakui standar internasional seperti AWS. Tabel 3 merupakan jenis *defect* yang terjadi pada pengelasan ini.

Tabel 3. Jenis defect berdasarkan AWS D1.1 2020

NO	GAMBAR	JENIS DEFECT	Definisi	Penyebab
1		<i>Undercut</i>	sebuah cacat las yang berada di bagian permukaan atau akar, bentuk cacat ini seperti cerukan yang terjadi pada <i>base metal</i> atau logam induk	Arus pengelasan yang digunakan terlalu besar, <i>Travel speed</i> / kecepatan las terlalu tinggi. Panjang busur las terlalu tinggi. Posisi elektroda kurang tepat. Ayunan tangan kurang merata, waktu ayunan pada saat disamping terlalu cepat.
2	 Pada Permukaan	<i>Porosity</i>	sebuah cacat pengelasan yang berupa sebuah lubang lubang kecil pada <i>weld metal</i> (logam las), dapat berada pada permukaan maupun didalamnya	Elektroda yang digunakan masih lembab atau terkena air, Busur las terlalu panjang. Arus pengelasan terlalu rendah. <i>Travel Speed</i> terlalu tinggi. Adanya zat pengotor pada benda

				kerja (karat, minyak, air dll).
3		<i>Lack of Fusion/ Incomplete Penetration</i>	sebuah hasil pengelasan yang tidak dikehendaki karena ketidaksempurnaan proses penyambungan antara logam las dan logam induk	Posisi Sudut kawat las salah. Ampere terlalu rendah. Sudut kampuh terlalu kecil. Permukaan kampuh terdapat kotoran. <i>Travel Speed</i> terlalu tinggi.

2.3 Proses Inspeksi Visual

Penelitian ini menggunakan dua acuan yaitu AWS D1.1 dan BKI dikarenakan AWS D1.1 memberikan standar yang lebih rinci terhadap evaluasi cacat pengelasan, sedangkan BKI digunakan sebagai dasar klasifikasi kapal yang mengakui standar internasional seperti AWS. Pengecekan ini dilakukan Bersama *Quality Control* (QC), dan BKI menetapkan bahwa sambungan pada struktur utama terutama pada *main deck* harus bebas dari cacat structural yang dapat membahayakan seperti *undercut*, *porosity*, *lack of fusion* dan memenuhi syarat kelayakan klasifikasi kapal yaitu tidak melewati batas toleransi yang sudah ditentukan oleh standar AWS D1.1, termasuk batas kekuatan struktur terhadap beban laut. *Defect* yang tergolong *reject* atau tidak dapat diterima harus dilakukan proses *repair*. dengan merujuk pada standar AWS D1.1, yang ada pada tabel 2 terkait toleransi maksimal dan semua yang melewati batas maksimal maka akan di anggap *reject* dan tidak memenuhi standar kualitas, dan harus di lakukan proses perbaikan (*repair*) sebelum dilakukan pemeriksaan ulang. Tabel 4. berikut merupakan standar toleransi yang telah di tetapkan oleh AWS D1.1 2020

Tabel 4. Toleransi max (AWS D1.1)

Jenis Defect	Toleransi Max (AWS D1.1)
<i>Undercut</i>	1. Maks. 1 mm (1/32 in) untuk sambungan <i>non-kritis</i> , (maks. Panjang 50 mm setiap 300mm) 2. Maks. 0.25 mm (0.01 in) untuk sambungan kritis/beban siklik (seluruh Panjang las)
<i>Porosity</i>	Diameter pori tunggal maks. 3 mm. (<i>length of weld max. 10mm tiap 30mm</i>)
<i>Lack of Fusion</i>	Tidak diperbolehkan sama sekali.

Pemeriksaan visual ini hanya di fokuskan pada identifikasi cacat permukaan seperti *undercut*, *Incomplete penetration* dan juga *porosity* karena metode ini hanya mampu mendeteksi cacat yang tampak secara langsung pada permukaan sambungan las. Selain itu, ketiga jenis cacat tersebut merupakan cacat yang paling umum terjadi pada proses pengelasan FCAW dan dapat memberikan indikasi awal terhadap kualitas pengelasan tanpa memerlukan alat uji tidak merusak (NDT) yang lebih kompleks. Fokus ini juga disesuaikan dengan keterbatasan alat inspeksi di lapangan serta tujuan penelitian yang menekankan pada evaluasi efisiensi waktu dan kualitas secara praktis di lingkungan galangan, dengan kriteria toleransi yang di tentukan. Pada proses ini metode yang digunakan yaitu inspeksi visual (*Visual Testing*) yang bertujuan untuk mengevaluasi hasil pengelasan pada *panel main deck* yang dilakukan dengan melalui observasi langsung dilapangan. Inspeksi ini mengacu pada standar *AWS D1.1: Structural Welding Code-Steel*, yang mengatur prosedur pemeriksaan dan batas toleransi terhadap cacat pengelasan, yang terdapat pada Bab 6. Berikut merupakan Langkah dari proses inspeksi visual dan alat yang akan digunakan nya:

a. Pembersihan

Langkah pertama adalah membersihkan area las dari terak, percikan logam (*spatter*), dan kotoran lainnya untuk memastikan permukaan dapat diamati secara jelas. Pembersihan dilakukan menggunakan sikat kawat untuk menghilangkan sisa terak dan *spatter*, serta dilanjutkan dengan pengelapan menggunakan kain bersih.

b. Pemeriksaan Visual Permukaan Las

Setelah area bersih, dilakukan pemeriksaan visual dengan bantuan senter untuk pencahayaan maksimal dan kaca pembesar guna melihat detail permukaan las. Pada tahap ini, diperiksa kemungkinan adanya cacat permukaan seperti *porosity* (lubang gas), *undercut* (cekungan di tepi las), dan *lack of fusion* (kurangnya peleburan antar logam dasar dan logam las).

c. Pengukuran Dimensi Las

Langkah berikutnya adalah pengukuran dimensi hasil pengelasan menggunakan *welding gauge*. Alat ini digunakan untuk mengukur tinggi kaki las, panjang, dan sudut dari hasil las guna memastikan bahwa hasil pengelasan sesuai dengan spesifikasi dan standar teknis yang ditetapkan.

d. Pencatatan dan Evaluasi Hasil

Tahap akhir adalah pencatatan hasil pemeriksaan ke dalam formulir inspeksi visual. Hasil pengamatan kemudian dievaluasi dan dibandingkan dengan standar yang digunakan, yaitu AWS D1.1 yang juga mengacu pada standar klasifikasi dari BKI, guna menentukan apakah sambungan las memenuhi persyaratan kualitas atau tidak.

2.4 Pengolahan Data

Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan dari proses pengelasan manual dan *robotic* kemudian di analisis untuk mendapatkan jenis pengelasan terhadap waktu dan cacat las pada pengelasan *panel main deck*. Setiap data yang diperoleh disusun dengan menggunakan aplikasi *Microsoft excel*. guna untuk melihat hasil dari perbandingan antara hasil pengelasan manual dan *robotic*, serta untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap waktu pengerjaan dan cacat las yang di temukan. Khususnya tabel terkait batas toleransi cacat las yang mengacu pada AWS D1.1. Perhitungan yang digunakan untuk mencari efesiensi terhadap waktu yaitu :

Mencari Waktu efektif robot dengan rumus : Waktu efektif = total waktu – waktu terbuang

$$\text{Efesiensi} = \text{waktu efektif} / \text{waktu total} \times 100\%$$

Mencari selisih efesiensi dengan rumus : efesiensi manual – efesiensi robot

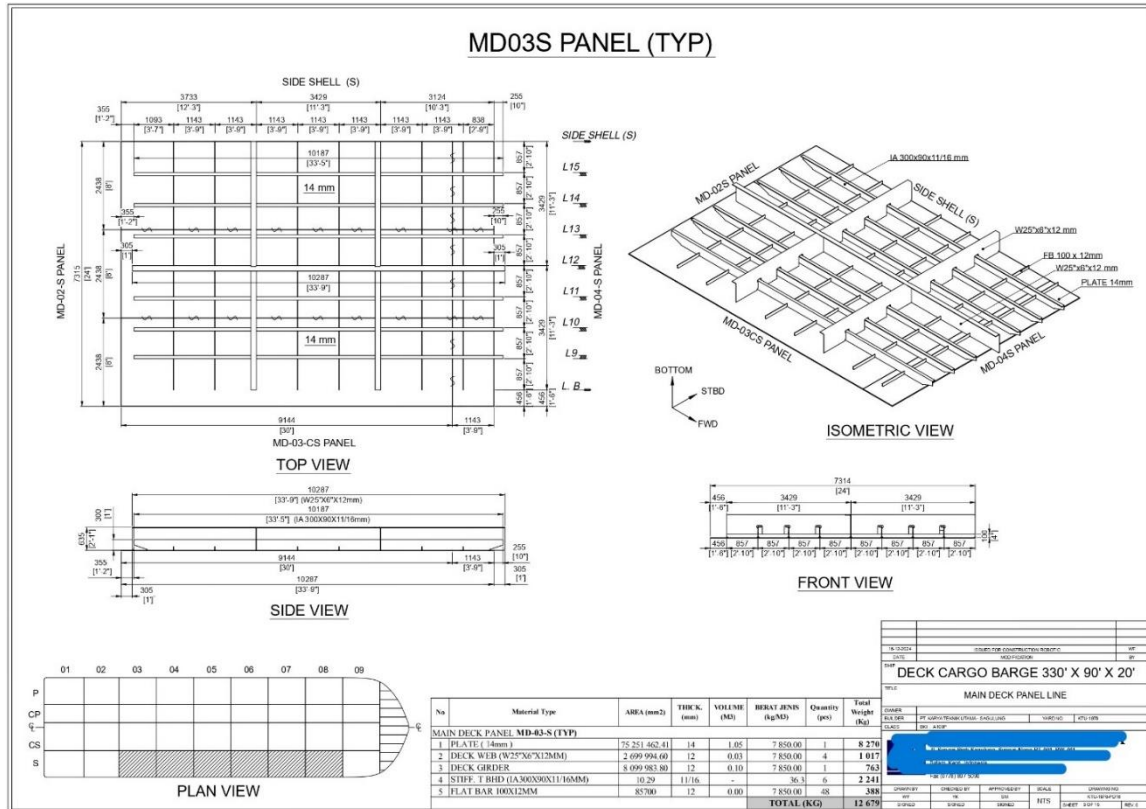
[5]

2.5 Hasil dan Kesimpulan

Hasil dari pengolahan data tersebut kemudian di analisis secara kuantitatif untuk membandingkan manakah metode pengelasan yang lebih efesien dengan melihat dua aspek utama yaitu waktu yang di butuhkan untuk menyelesaikan proses pengelasan dan jumlah cacat las yang di temukan selama proses inspeksi visual.

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Detail Konstruksi Panel Main deck



Gambar 3. Detail Konstruksi Panel Main Deck

Gambar 3. menunjukkan desain panel MD-03S yang merupakan bagian dari struktur *main deck* pada kapal jenis *deck cargo barge* berukuran 330ft x 90ft x 20ft. Gambar ini mencakup tampilan *top view*, *side view*, *front view*, *isometric view*, dan *plan view*, yang menjelaskan detail dimensi, susunan elemen struktur, serta spesifikasi material yang digunakan dalam konstruksi panel tersebut. Pada Tabel 5 berikut menunjukkan rincian jenis dan ukuran material yang digunakan pada panel MD-03S, termasuk ukuran ketebalan, volume masing-masing material, serta jumlah komponen yang dibutuhkan dalam proses konstruksi *main deck* kapal.

Tabel 5. Ukuran Material

Jenis Material	Ukuran Ketebalan	Volume	Jumlah
Plate (14mm)	14 mm	1,05 m3	1 pcs
Deck web (W25" x 6" x 12mm)	12 mm	0,03 m3	4 pcs
Deck Girder (W25" x 6" x 12mm)	12 mm	0,10 m3	1 pcs
Stif. TBD IA300 x 90 x 11/16mm)	11/16 mm	0,0105 m3	6 pcs
Flat Bar 100 x 12mm	12mm	0,0 m3	48 pcs

3.2 Hasil Perhitungan Waktu Pengelasan

Tabel 6 menyajikan perbandingan efisiensi waktu antara pengelasan manual dan *robotic*, yang meliputi total waktu pengerjaan, waktu tidak efektif, waktu efektif, serta persentase efisiensi dari masing-masing proses.

Tabel 6. Perbandingan Efisiensi Waktu antara Pengelasan Manual dan Robotik

Proses Pengelasan	Total Waktu (menit)	Waktu Tidak Efektif (menit)	Waktu Efektif (menit)	Efisiensi (%)
Manual	270	0	270	100%
Robotik	270	30	240	88,89%
Selisih Efisiensi	-	-	-	11,11%

Pada proses ini dilakukan dengan observasi langsung di lapangan yang dimana di dapat data sebagai berikut:

Tabel 7. Waktu Kerja proses Pengelasan FCAW Manual Pembuatan Main deck

Metode	Kegiatan	Jam	Estimasi waktu	hari
Manual FCAW	<i>Preparation</i>	7.30 - 8.00	30 menit	day 1
	Proses Pengelasan	8.00 - 08.30	30 menit	
	<i>break</i>	8.30 - 8.50	20 menit	
	Proses Pengelasan	8.50 - 9.30	40 menit	
	<i>Cofee time</i>	9.30 - 9.45	15 menit	
	Proses Pengelasan	9.45 - 10.15	30 menit	
	<i>break</i>	10.15 - 10.30	15 menit	
	Proses Pengelasan	10.30 - 11.20	50 menit	
	<i>break ISHOMA</i>	11.20 - 13.00	100 menit	
	<i>Preparation</i>	13.00 - 13.15	15 menit	
	Proses Pengelasan	13.15 - 14.30	75 menit	
	<i>break</i>	14.30 - 14.45	15 menit	
	Proses Pengelasan	14.45 - 15.10	20 menit	
	<i>coffe time</i>	15.10 - 15.30	20 menit	
	<i>Preparation pulang</i>	15.30 - 16.00	30 menit	
	<i>preparation</i>	7.30 - 8.00	30 menit	day 2
	Proses Pengelasan	8.00 - 8.25	25 menit	

Tabel 8. Waktu Kerja proses Pengelasan FCAW Robotik Pembuatan Main deck

Metode	Kegiatan	Jam	Estimasi Waktu	hari
FCAW ROBOTIC	<i>Preparation</i>	7.30 - 8.00	30 Menit	day 1
	Teaching / Programan	8.00 - 15.30	450 menit	
	<i>Preparation</i>	7.30 - 8.00	30 Menit	day 2
	prose Pengelasan	8.00 - 11.45	225 menit	
	<i>Break ISHOMA</i>	12.00 - 13.00	60 menit	
	prose Pengelasan	13.00 - 13.45	45 menit	

Berdasarkan tabel 7 dan 8, proses pengelasan FCAW manual memerlukan total waktu 8 jam 55 menit (535 menit), dengan waktu efektif pengelasan sebesar 275 menit (4 jam 35 menit), sementara sisanya digunakan untuk persiapan, istirahat, dan jeda lainnya. Pada pengelasan FCAW *robotic*, total waktu kerja mencapai 13 jam 15 menit (795 menit), yang terdiri dari 450 menit untuk proses *teaching/programming*, 60 menit untuk istirahat, 60 menit untuk persiapan, dan 270 menit (4 jam 30 menit) sebagai waktu pengelasan efektif. Meskipun waktu total lebih lama akibat proses pemrograman awal, metode *robotic* memberikan keunggulan berupa konsistensi dan efisiensi saat pengelasan berlangsung, karena mesin bekerja otomatis tanpa banyak intervensi operator. Dalam pelaksanaannya, sempat terjadi error pada robot 2 dan 3, namun sistem tetap berjalan dan pengelasan tetap dilanjutkan. Error tersebut menyebabkan adanya tambahan waktu dalam proses perbaikan dan penyesuaian, namun tidak menghentikan keseluruhan

pekerjaan secara menyeluruh, hanya berdampak pada durasi waktu yang sedikit lebih panjang.

Tabel 9. Durasi Proses Pengelasan

<i>Proses</i>	<i>Duration (hours)</i>	<i>Jumlah Man power</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Robotic Weld</i>	4 jam 30 menit	4 orang	Robot 2 & 3 eror selama 30 menit
<i>Manual weld</i>	4 jam 30 menit	4 orang	

Data durasi yang sama antara metode pengelasan manual dan *robotic* dikarenakan ada faktor yang mempengaruhi. Diantaranya yaitu terjadinya eror pada robot 2 dan robot 3 sehingga membuat waktu terbangun selama 30 menit akibat pergerakan torch yang tidak terkontrol sehingga menabrak permukaan benda kerja. Hal ini disebabkan oleh kesalahan dalam pemrograman jalur gerak robot yang tidak sesuai dengan posisi kampuh las di lapangan. Gambar 4. merupakan gambar pada torch robotic yang eror akibat menabrak komponen struktural *stiffener*.

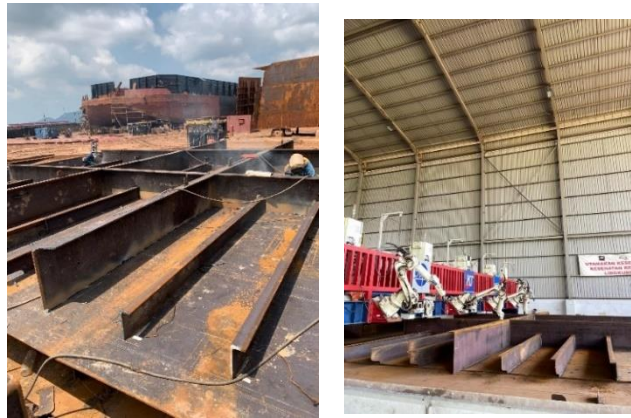


Gambar 4. Torch robotic yang menyebabkan eror

Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi waktu kerja pengelasan *robotic* sebesar 88,89%, sedangkan pengelasan manual mencapai 100%, dengan selisih efisiensi sebesar 11,11%. Hal ini menunjukkan bahwa pengelasan manual lebih unggul dalam pemanfaatan waktu kerja secara efektif dibandingkan pengelasan *robotic*. Perbedaan ini disebabkan oleh terjadinya gangguan teknis pada robot nomor 2 dan 3 selama proses pengelasan, yang menyebabkan kehilangan waktu (*lose time*) selama kurang lebih 30 menit. Waktu tidak produktif tersebut berdampak langsung pada penurunan efisiensi kerja pengelasan *robotic*, sehingga pengelasan manual terlihat lebih unggul dalam hal pemanfaatan waktu secara efektif.

Pada proses pengelasan manual, dibutuhkan 4 orang *manpower* yang masing-masing sebagai *welder* yang memiliki peran pada pengerjaan *panel maindeck*, seperti mengerjakan bagian sisi kiri, sisi kanan, sambungan Tengah hingga bagian akhir (*finishing*). Proses pengelasan manual melibatkan empat orang *welder*, namun berdasarkan prosedur dari perusahaan, pengelasan tidak diperbolehkan dilakukan secara serentak oleh seluruh welder pada satu panel secara bersamaan. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan struktur panel dan mencegah distorsi akibat konsentrasi panas yang berlebihan di area tertentu. Oleh karena itu, pelaksanaan pengelasan dilakukan secara bergantian, dimulai oleh dua orang *welder* terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan oleh dua *welder* berikutnya setelah area sebelumnya cukup dingin dan stabil untuk proses selanjutnya. Sementara itu, pada proses pengelasan *robotic* mesin yang digunakan yaitu 4 unit yang

dikendalikan hanya 2 orang *manpower*. Kedua operator tersebut bertugas mengoperasikan dan mengawasi keempat mesin tersebut secara bergantian. Meskipun jumlah mesin yang digunakan sama, maka proses pengelasan *robotic* membutuhkan jumlah *manpower* yang lebih sedikit dikarenakan proses pengelasan nya yang otomatis.



Gambar 5. Proses Pengelasan Manual dan *Robotic* panel main deck

3.3 Penggunaan Consumable

Pada proses pengelasan *panel main deck*, baik secara manual maupun menggunakan *robotic*, terdapat penggunaan consumable (bahan habis pakai) selama proses berlangsung. Adapun data penggunaan *consumable* yang diperoleh adalah sebagai berikut

Tabel 10. Penggunaan Consumable Robotik Weld

<i>WIRE 1 (Sim Joint Area)</i>	<i>WIRE 2 (Long Girder Area)</i>	<i>WIRE 3 (Transversal Web Area)</i>	<i>WIRE 4 (Stiffener Area)</i>	<i>CO2</i>	<i>Kapasitas Co2</i>
3,9 Kg	7,1 Kg	7,9 Kg	2,3 Kg	6 tabung	47,6 kg
total pemakaian wire robot			21,2 kg		
total pemakaian co2 robot			6 tabung		285,6kg

berdasarkan tabel 8. total pemakaian kawat las (*wire*) pada proses pengelasan *robotic* yaitu 21,2 kg, yang terbagi ke empat mesin robot tersebut. Wire 3 didapat jumlah pemakaian tertinggi di area *transversal web* yaitu 7,9 kg, sedangkan wire 4 menjadi yang terendah di area *stiffener* yaitu sebanyak 2,3 kg. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi Panjang jalur las pada panel yang dikerjakan dari masing-masing robot yang dipengaruhi oleh adanya konstruksi memanjang dan melintang pada panel main deck, sehingga menyebabkan variasi pada jalur las yang harus diselesaikan. Lalu untuk penggunaan gas pelindung CO2 yang digunakan pada proses ini sebanyak 6 tabung selama seluruh proses pengelasan. Jumlah ini dinilai cukup karena pengelasan *robotic* ini berjalan dengan stabil dan terprogram.

Tabel 11. Penggunaan Consumable Manual Weld

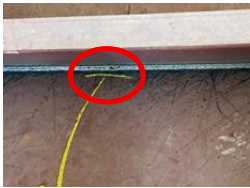
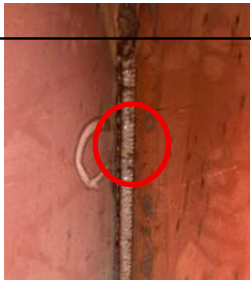
<i>WIRE 1 (Long Girder Area)</i>	<i>WIRE 2 (Transversal web Area)</i>	<i>WIRE 3 (sim joint area)</i>	<i>WIRE (long stiffener area)</i>	<i>CO2</i>	<i>Kapasitas Co2</i>
7,5 kg	8 kg	7,5 kg	7 kg	5tabung	47,6 kg
total pemakaian wire manual			30 kg		
totalpemakaian co2 manual			5 tabung		238 kg

Berdasarkan tabel 9, total penggunaan kawat las (*wire*) pada proses pengelasan manual yaitu sebesar 30 kg, dengan pemakaian tertinggi yaitu di area *transversal web* sebanyak 8kg oleh *Wire 2*, dan pemakaian terendah yaitu di area *long stiffener* sebanyak 7kg yang digunakan oleh *Wire 4*. Jumlah ini menunjukkan bahwa seluruh *welder* berkontribusi secara merata dalam proses pengelasan. Kemudian penggunaan gas pelindung CO₂ yang digunakan yaitu sebanyak 5 tabung. Meskipun proses pengelasan manual ini lebih banyak melibatkan aktivitas fisik, penggunaan gas cenderung lebih hemat dibandingkan dengan proses pengelasan *robotic*. Dikarenakan waktu pengelasan perjalur *relative* lebih singkat, dan aliran gas tidak berlangsung secara terus menerus seperti pada mesin *robotic*.

Sehingga di simpulkan bahwa penggunaan *wire* pada pengelasan *robotic* lebih sedikit dibandingkan manual karena prosesnya dilakukan dengan tingkat presisi, konsistensi, dan kestabilan yang tinggi, di mana setiap jalur las dijalankan sesuai program yang terkontrol secara otomatis sehingga meminimalkan pemborosan kawat las. Sebaliknya, pada pengelasan manual, keterbatasan teknik, variasi gerakan tangan, dan faktor kelelahan operator sering menyebabkan hasil las yang tidak seragam, sehingga membutuhkan lebih banyak *wire* untuk membentuk lapisan yang sesuai. Sementara itu, penggunaan gas CO₂ pada pengelasan *robotic* justru lebih banyak karena gas mengalir secara otomatis selama *pre-flow*, *post-flow*, dan perpindahan titik las, serta debit gas diatur lebih tinggi demi menjaga stabilitas dan kualitas hasil las. Berbeda dengan proses manual yang aliran gasnya hanya aktif saat proses pengelasan berlangsung dan debitnya dapat diatur lebih rendah untuk efisiensi penggunaan.

3.4 Hasil Defect yang ditemukan

Tabel 12. Defect yang di Temui

PROSES PENGELASAN	DEFECT	UKURAN	BANYAK DEFECT	AREA	KETERANGAN	FOTO
FCAW ROBOTIK	Porosity	Length 10mm	2	Transversal web frame	Repair	
		Length 8mm				
		Length 15mm	1	Longitudinal Girder		
	Lock Of Fusion	Length 20mm	1	Longitudinal Girder	Repair	
		kedalaman 1mm			Repair	
	Undercut	panjang 15mm	2	Long Girder	Repair	
		kedalaman 0,8mm panjang 5mm			ok	

		kedalaman 1,5mm panjang 20	1	Transversal web frame	Repair	
FCAW MANUAL	porosity	Length 8mm	3	Transversal web frame	ok	
		Length 20mm			Repair	
		Length 150mm				
		Length 15mm	2	Longitudinal Girder	Repair	
		Length 5mm			ok	
	Lock Of Fusion	Length 150mm	1	Transversal web frame	Repair	
	Undercut	kedalaman 0,5mm panjang 7mm	2	Transversal web frame	ok	
		kedalaman 1,5mm panjang 25mm			Repair	
		kedalaman 1mm panjang 13mm	2	sim flat joint	Repair	
		kedalaman 0,8mm panjang 3mm			ok	
		kedalaman 2mm panjang 10mm	2	sim but joint	Repair	

		kedalaman 2mm panjang 10mm				
--	--	-------------------------------	--	--	--	---

Berdasarkan Tabel 10, ditemukan tiga jenis cacat utama dalam proses pengelasan FCAW, yaitu *porosity*, *lack of fusion*, dan *undercut*, baik pada pengelasan *robotic* maupun manual. Cacat *porosity* umumnya disebabkan oleh adanya gas terperangkap dalam logam las saat pendinginan. Penyebabnya bisa berasal dari kontaminasi permukaan material, aliran gas pelindung (CO_2) yang tidak stabil. Dalam kasus *robotic*, meskipun prosesnya otomatis, *Porosity* tetap bisa terjadi pada pengelasan robotik karena aliran gas pelindung tidak bekerja dengan baik. Hal ini bisa disebabkan oleh pengaturan waktu keluarnya gas sebelum dan sesudah pengelasan yang terlalu singkat, atau karena ada kebocoran pada selang atau sambungan gas, sehingga aliran gas menjadi tidak stabil. Sedangkan pada proses manual, *porosity* cenderung muncul karena teknik pengelasan yang tidak konsisten dan posisi *torch* yang terlalu jauh atau miring, yang mengganggu perlindungan gas CO_2 .

Lack of fusion terjadi ketika lapisan logam las gagal menyatu dengan *base metal* atau lapisan sebelumnya. Pada pengelasan *robotic*, hal ini bisa terjadi karena *setting parameter* yang tidak sesuai (seperti kecepatan terlalu tinggi atau arus tidak cukup besar), atau penempatan *torch* yang tidak tepat karena gangguan mekanik—misalnya *torch* menabrak objek (seperti yang sempat terjadi). Sementara pada pengelasan manual, penyebab *lack of fusion* sering kali berasal dari sudut *torch* yang tidak konsisten, perpindahan tangan yang terlalu cepat atau lambat, atau pengendalian panas yang buruk. Cacat *undercut*, yaitu alur yang terbentuk di sisi las akibat pelelehan berlebih tanpa pengisian, paling banyak ditemukan, terutama pada proses manual. Penyebab utamanya adalah pengendalian teknik yang tidak stabil, seperti *travel speed* terlalu tinggi, sudut elektroda yang tidak tepat, atau tegangan busur terlalu tinggi. Meskipun juga ditemukan pada proses robotik, jumlahnya lebih sedikit karena pergerakan *torch* pada robot umumnya lebih presisi dan konsisten. Namun, jika terjadi, biasanya disebabkan oleh kesalahan pada *setting* awal program atau sudut *torch* yang tidak menyesuaikan bentuk konstruksi, seperti pada sambungan memanjang dan melintang di panel *main deck*.

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis, penggunaan kawat las (*wire*) memiliki kontribusi terhadap kualitas hasil pengelasan, khususnya apabila *material wire* yang digunakan tidak memenuhi standar spesifikasi. Namun demikian, temuan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya cacat las (*defect*) lebih dominan berasal dari aspek teknis, seperti metode pengelasan, pengaturan parameter mesin, posisi pengelasan, serta kestabilan aliran gas pelindung. Selain itu, faktor-faktor seperti keterampilan operator (*welder*), kecepatan proses pengelasan, kemampuan sistem *robotic* dalam menjaga konsistensi gerak, dan kecepatan gerak robot juga memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil akhir pengelasan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa terjadinya cacat las merupakan hasil interaksi dari berbagai faktor, baik dari sisi material, manusia, mesin, maupun lingkungan kerja, dan bukan semata-mata disebabkan oleh kualitas kawat las yang digunakan. [6]

4 Kesimpulan

Penelitian ini membandingkan efisiensi waktu dan kualitas hasil pengelasan antara proses FCAW manual dan FCAW *robotic* pada pekerjaan *panel main deck* di PT XYZ. Kedua metode menggunakan diameter kawat yang sama (1,2 mm), namun berbeda pada merek dan sistem aplikasinya.

Berikut adalah kesimpulan utama dari penelitian ini:

1. Efisiensi Waktu:

Proses pengelasan manual terbukti lebih cepat dibandingkan dengan pengelasan *robotic* dalam percobaan ini. Namun, keunggulan waktu pada pengelasan manual disebabkan oleh adanya gangguan teknis pada mesin *robotic* yang menyebabkan keterlambatan selama 30 menit. Apabila sistem *robotic* berjalan normal tanpa kendala teknis, *robotic* memiliki potensi efisiensi waktu yang lebih tinggi karena dapat bekerja secara

otomatis dan konsisten.

2. Kualitas Hasil Las:

Pengelasan *robotic* menghasilkan jumlah cacat (*defect*) yang lebih sedikit dibandingkan dengan pengelasan manual. Jenis cacat yang diamati meliputi porosity, undercut, dan lack of fusion, sesuai standar AWS D1.1. *Robotic* juga menunjukkan konsistensi hasil yang lebih baik, khususnya pada posisi pengelasan 2F (*horizontal fillet*) dan 3F (*vertical fillet*). Sementara itu, pengelasan manual lebih fleksibel untuk berbagai posisi, tetapi kualitas hasilnya lebih bervariasi.

3. Aplikasi dan Implikasi Industri:

Pengelasan *robotic* unggul dari sisi kualitas hasil las dan berpotensi meningkatkan efisiensi waktu kerja jika tidak mengalami kendala teknis. Sementara itu, pengelasan manual tetap memiliki keunggulan pada fleksibilitas posisi dan adaptasi di lapangan. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi industri perkapalan untuk meningkatkan produktivitas dan mutu pengelasan, terutama dalam pemilihan metode pengelasan yang sesuai dengan kebutuhan dan kondisi di lapangan.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan pengelasan FCAW *robotic* dan FCAW manual pada *panel main deck barge 330 ft*, diketahui bahwa pengelasan manual lebih unggul dalam hal efisiensi waktu, sedangkan pengelasan *robotic* lebih unggul dalam kualitas hasil las. Namun, apabila harus dipilih salah satu proses secara keseluruhan, maka pengelasan FCAW manual merupakan pilihan yang lebih tepat, terutama dalam kondisi industri yang memiliki target waktu produksi yang ketat. Keunggulan manual dalam menyelesaikan pekerjaan tepat waktu memberikan nilai strategis dalam menjaga kelancaran proyek, efisiensi biaya, dan pemenuhan tenggat produksi. Meskipun kualitas pengelasan manual masih berada di bawah *robotic*, hal tersebut dapat diatasi melalui peningkatan keterampilan *welder*, pengawasan mutu yang ketat, dan penerapan prosedur kerja yang sesuai standar. Dengan demikian, FCAW manual dinilai lebih layak digunakan sebagai pengelasan utama pada proyek pembangunan *Barge 330 ft*, terutama untuk mendukung pencapaian efisiensi waktu dalam skala industri.

5 Daftar Pustaka

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

- [1] A. A. Romani, P. Mulyatno, dan R. Good, “ANALISA KEKUATAN MODIFIKASI KONSTRUKSI GELADAK UTAMA KAPAL LCT VIP JAYA 893 GT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA,” 2015.
- [2] “Analisis Teknis Dan Ekonomis Kombinasi Pengelasan Robotic Welding Dengan Welder Konvensional Pada Sambungan Pipa Struktur Jacket Bangunan Lepas Pantai JURNAL TEKNIK ITS Vol. 6, No. 2 (2017).”
- [3] U. Riau Kepulauan Jl Batu Aji Baru -Batam -Provinsi Kepulauan Riau -Indonesia, “ANALISA KUALITAS PENGELASAN FLUX CORED ARC WELDING (FCAW) PADA PABRIKASI TUGBOAT 23 M, HULL 302,” *Sigma Teknika*, vol. 3, no. 1, hlm. 39–49.
- [4] D. Suh Utomo, “ANALISIS KUALITAS HASIL PENGELASAN MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA GUNA MENGURANGI WELD DEFECT,” *Jurnal Teknik Industri-Universitas Bung Hatta*, vol. 11, no. 1, hlm. 11–24, 2024.
- [5] E. Destian Maharani, D. Mulyasari Sumarta, A. Nurhayati, F. I. Kreatif, D. Teknik Industri, dan U. T. Bandung, “ANALISIS EFEKTIVITAS MESIN CO2 WELDER DAN MESIN PANASONIC ROBOT WELDER DENGAN MENGGUNAKAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (KONSTRUKSI WELDING PT. CHITOSE INTERNASIONAL TBK),” vol. 12, 2024.

- [6] I. Hanung, B. Setiawan, H. Yudo, and S. Jokosisworo, "Jurnal Teknik Perkapalan," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 2, p. 456, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/naval>
- [7] K. A. Ss, "Pengaruh variasi arus las pada pengelasan fcaw dari material baja kapal astm ss 400," pp. 121–130, 2019.
- [8] W. Cod---e, *AWS-D1.1* -. 2020.