

Pengaruh Fit Up Joint Erection Blok Terhadap Kualitas Sambungan Las Pada Kapal Roro (*Roll-on/Roll-off*)

Jeremia Steven Simanjuntak^{*1}, Ir. Ari Wibowo, S.T., M,Eng. 1^{*}

□ Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi
Perkapalan Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461,
Indonesia

¹E-mail: jeremiasimanjuntak752@gmail.com

Abstrak

Industri perkapalan memegang peranan strategis dalam menunjang transportasi laut, pertahanan, dan ekonomi maritim nasional. Pengelasan merupakan tahapan krusial dalam pembangunan kapal yang sangat menentukan integritas struktural dan keselamatan operasional kapal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter fit up, yaitu root gap dan alignment, terhadap kualitas sambungan las pada proses joint erection main deck kapal Ro-Ro. Variasi parameter fit up yang tidak sesuai spesifikasi berpotensi menimbulkan cacat las seperti porosity, undercut, lack of fusion, incomplete penetration, dan distorsi struktur. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan rekomendasi parameter fit up yang optimal serta menjadi acuan praktis bagi galangan kapal dalam meningkatkan standar kualitas pengelasan sesuai ketentuan ABS dan BKI.

Kata Kunci: *fit up, joint erection, kualitas pengelasan, kapal Ro-Ro, root gap, cacat las*

Abstract

The shipping industry plays a strategic role in supporting maritime transportation, conservation, and the national maritime economy. Welding is a crucial stage in shipbuilding, crucial for structural integrity and operational safety. This study aims to analyze the influence of fit-up parameters, namely root gap and alignment, on weld joint quality during the main deck joint erection process of Ro-Ro vessels. Variations in fit-up parameters that do not meet specifications have the potential to cause weld defects such as porosity, undercuts, lack of fusion, incomplete penetration, and structural distortion. The results of this study are expected to provide recommendations for optimal fit-up parameters and serve as a practical reference for shipyards in improving welding quality standards in accordance with ABS and BKI regulations.

Keywords: *fit-up, joint erection, welding quality, Ro-Ro vessels, root gap, weld defects*

1 Pendahuluan

Industri perkapalan merupakan salah satu sektor strategis yang memiliki peranan penting dalam menunjang sistem transportasi laut, kegiatan pertahanan, dan pengembangan ekonomi maritim nasional. Dalam proses pembangunan kapal, pengelasan (*welding*) merupakan tahapan yang sangat krusial karena digunakan hampir pada seluruh penyambungan struktur baja kapal. Salah satu proses penting dalam konstruksi kapal adalah pengelasan, karena hampir seluruh struktur kapal disambungkan menggunakan metode pengelasan. Oleh karena itu, kualitas sambungan las yang dihasilkan sangat menentukan integritas struktural, keandalan, dan keselamatan operasional kapal.

Pembangunan kapal modern pada umumnya menggunakan metode sistem blok (***block construction method***), di mana kapal dibangun secara terpisah dalam beberapa unit blok, kemudian disatukan dalam proses yang dikenal sebagai *joint erection*. Pada tahap ini, proses *fit up* yakni persiapan dan penyambungan antara satu blok dengan blok lainnya sebelum dilakukan pengelasan menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil las akhir. Pendekatan penelitian ini dijelaskan bahwa proses erection blok sangat rentan terhadap deformasi geometrik dan kesalahan penyambungan yang dapat memengaruhi kualitas struktur kapal secara keseluruhan [1].

Fit up yang tidak sesuai spesifikasi dapat menyebabkan berbagai jenis cacat pengelasan, seperti porosity, undercut, lack of fusion, incomplete penetration, dan distorsi struktur. Cacat-cacat tersebut dapat menurunkan kekuatan mekanik sambungan serta memperbesar konsentrasi tegangan pada area tertentu. Ketidakesesuaian geometri sambungan sebelum pengelasan berpengaruh langsung terhadap distribusi tegangan residual dan performa mekanik hasil las [2]. Penelitian ini menjelaskan bahwa pengendalian kualitas pengelasan harus dimulai sejak tahap persiapan sambungan, karena sebagian besar cacat pengelasan berasal dari ketidaktepatan *fit up* dan parameter pengelasan yang tidak sesuai [3].

Kapal Ro-Ro (Roll-on/Roll-off) merupakan jenis kapal yang dirancang khusus untuk mengangkut kendaraan, alat berat, maupun penumpang dengan sistem keluar masuk muatan menggunakan ramp door. Dalam operasionalnya, kapal Ro-Ro menerima pengaruh berbagai jenis beban, seperti beban statis dari berat kendaraan dan muatan, yang terjadi secara berulang karena gelombang laut, getaran mesin, dan distribusi muatan yang berubah-ubah. Pihak sebelumnya menjelaskan bahwa sambungan las pada struktur utama kapal harus memiliki kualitas yang tinggi untuk menjamin ketahanan selama umur layanan kapal [4]. Oleh sebab itu, sambungan las pada *joint erection* harus memenuhi standar kualitas yang ketat sesuai dengan ketentuan badan klasifikasi seperti American Bureau of Shipping (ABS) maupun Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).

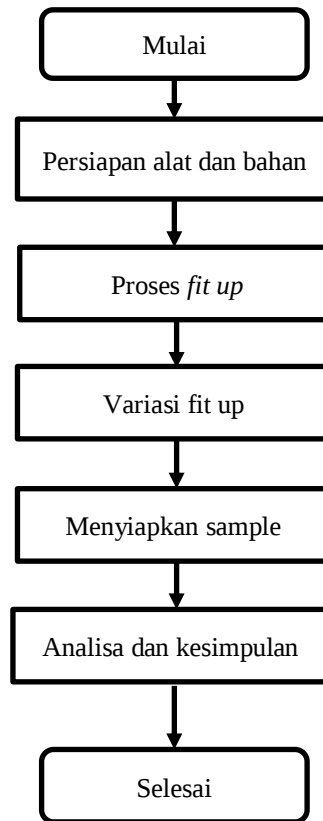
Secara umum, pengelasan (*welding*) merupakan proses penyambungan dua bagian logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas untuk mencairkan material induk maupun logam pengisi, sehingga terbentuk sambungan yang menyatu secara metalurgis. Pada konstruksi kapal baja, metode pengelasan yang umum diterapkan antara lain Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dan Flux Cored Arc Welding (FCAW), yang pemilihannya disesuaikan dengan ketebalan pelat, posisi pengelasan, serta efisiensi proses produksi di galangan kapal [6]. Distorsi pada material *Block* kapal adalah perubahan bentuk geometrik yang tidak diinginkan pada pelat dan profil struktur geladak utama akibat proses fabrikasi, pengelasan, pengangkatan, maupun pembebanan selama konstruksi. Distorsi pada kapal *roro* umumnya disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor. Faktor utama adalah masukan panas (*heat input*) yang tinggi selama pengelasan panel *blok* kapal, terutama pada sambungan antara pelat. Distorsi dapat menimbulkan berbagai konsekuensi seperti ketidakrataan antar *blok*.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh *fit up joint erection* terhadap kualitas sambungan las pada lambung kapal. Dalam penelitian terdahulu yang dipublikasikan di Jurnal menunjukkan bahwa variasi parameter *fit up* seperti root gap dan misalignment secara signifikan memengaruhi tingkat cacat dan kekuatan mekanik sambungan las pada lambung kapal [5]. Hasil penelitian tersebut menegaskan bahwa kontrol dimensi *fit up* yang baik dapat meningkatkan kualitas hasil pengelasan secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara parameter *fit up* seperti root gap, dan distorsi terhadap kualitas sambungan las yang dihasilkan. Hasil penelitian diharapkan dapat menganalisis secara komprehensif hubungan antara variasi parameter *fit up* dengan kualitas sambungan las yang dihasilkan, sehingga diperoleh rekomendasi parameter *fit up* yang optimal untuk diterapkan dalam proses produksi kapal.

2 Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Pada pengujian ini melewati beberapa tahapan. Adapun proses pengujian yang akan dilaksanakan sebagai berikut pada gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.2 Persiapan alat dan bahan

Sebelum melakukan Proses fit up harus mempersiapkan alat dan bahan yang bertujuan untuk mengurangi kegagalan dalam proses penyambungan *joint erection blok kapal*. Alat dan bahan yang dimaksud ditunjukkan sebagai berikut.

A. Alat

1. Chain Blok
Chain Block digunakan untuk menarik, menahan, dan menyetel posisi blok secara presisi.
2. Lever Block
Lever Block digunakan untuk menarik dua pelat agar root gap sesuai toleransi.
3. Hydraulic Jack
Hydraulic Jack dipakai untuk menaikkan atau menurunkan elevasi blok beberapa milimeter hingga alignment tercapai.
4. Mesin las SMAW dan FCAW
Digunakan untuk melakukan tack weld sebelum dilakukan pengelasan penuh oleh welder.
5. Palu

Palu digunakan untuk memberikan gaya pukul pada material atau alat bantu lain selama proses fabrikasi dan erection kapal.

6. Water pass

Water pass digunakan untuk memastikan permukaan komponen yang akan disambung (misalnya base plate, flange, atauudukan struktur) berada dalam kondisi rata.

B. Bahan

1. Material ASTM A36

Digunakan sebagai material utama dalam proses pembangunan blok kapal sebelum di lakukan *joint erection*

2. Elektroda

Kawat las yang digunakan dalam proses tack weld adalah seri E7018

3. Marking

alat tulis yang digunakan pada tahap fit-up dan erection untuk memberikan tanda-tanda pada material plat agar root gap, dan posisi sambungan tetap akurat selama proses pengelasan.

4. NDT (Non Destructive Testing)

Untuk mendapatkan hasil defect welding pada saat proses pengelasan

2.3 Proses Fit up

Proses fit up joint erection dimulai dengan persiapan alat-alat dan membersihkan area yang ingin di fit up dari kotoran. Berikut langkah-langkah dalam melakukan tahapan proses fit up.

1. Penyetelan posisi blok berada pada posisi yang ingin di fit up, proses dilakukan dengan menggunakan *chain block, hydraulic jack, lever blok*.
2. Pengaturan gap atau jarak celah akar (*root opening*), serta memastikan kedua antar plate sama rata menggunakan water pass dan pemasangan strongback yang dimana agar kedua sisi plat sama rata.
3. Setelah posisi sambungan dinyatakan sesuai, komponen dikunci menggunakan *tack weld* atau pengelasan sementara. Fungsi *tack weld* adalah menjaga posisi sambungan agar tidak berubah selama proses pengelasan utama.

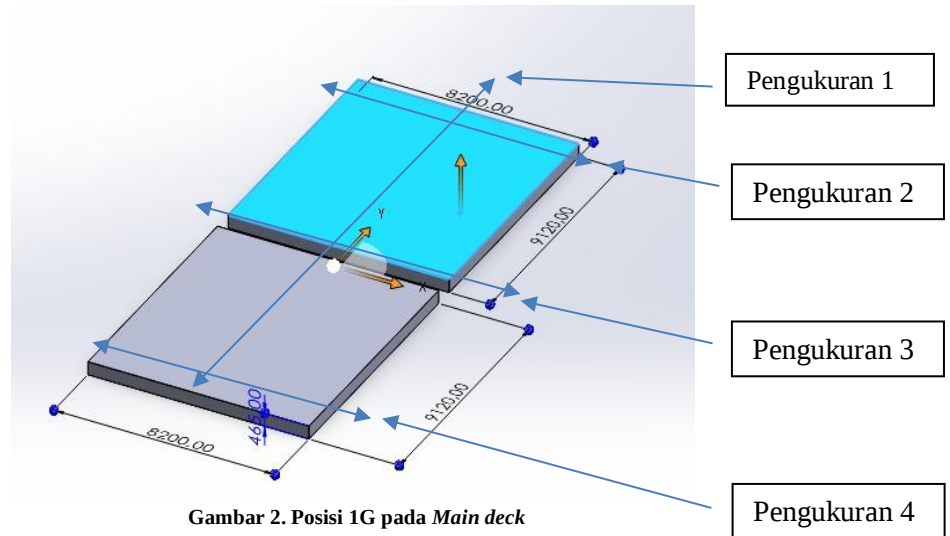
2.4 Variasi fit up

Fit-up adalah proses penyetelan, penyambungan, dan penyesuaian posisi kedua antar blok sebelum dilakukan pengelasan permanen. Berikut adalah proses dalam melakukan *fit up joint* di *erection*.

Proses fit up dari 3 sample

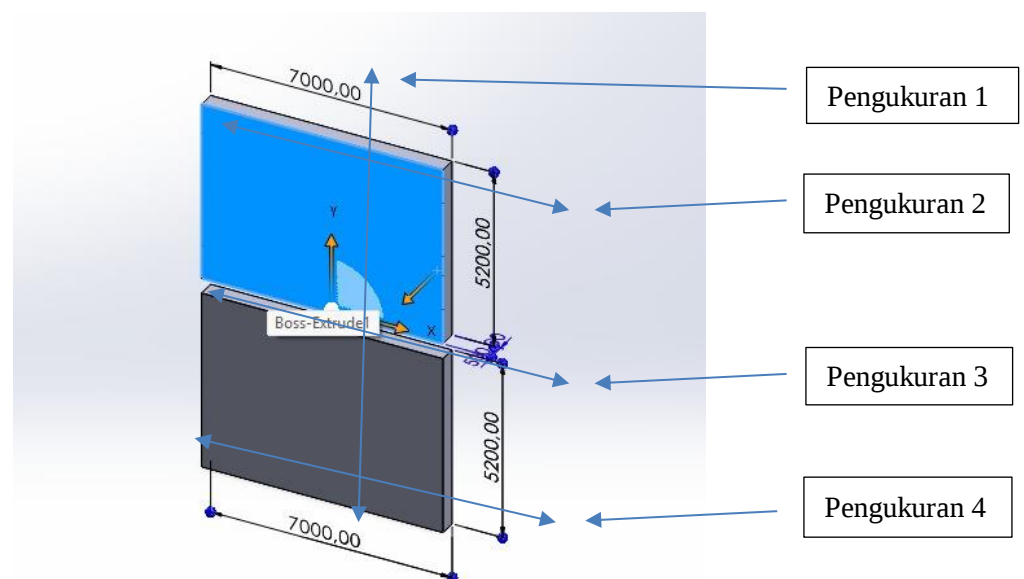
1. Proses fit up posisi 1G pada *Main deck*

Proses fit up posisi 1G pada main deck kapal dilakukan dengan menyusun dan menyetel dua material pelat secara horizontal sebelum pengelasan utama. Tahapan dimulai dari persiapan material, pengukuran, alignment, pemasangan Strong back, tack weld, hingga inspeksi akhir. Ukuran panjang material yang digunakan adalah 8200 mm dengan ketebalan 10–12 mm dan root gap sekitar 8-10 mm.



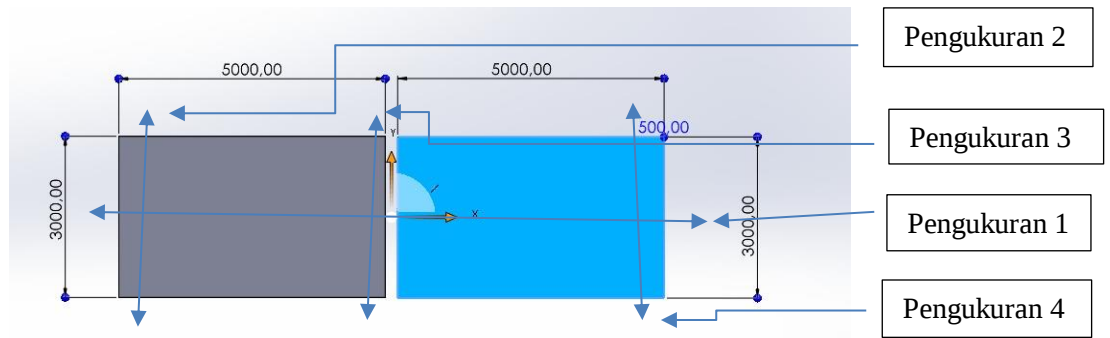
2. Proses fit up posisi 2G pada Blok F01C dan F01P

Fit up posisi 2G merupakan proses penyetelan dan penyambungan dua material sebelum pengelasan dilakukan pada posisi horizontal. Posisi ini memerlukan ketelitian tinggi karena gravitasi dapat mempengaruhi cairan las sehingga penyetelan material harus benar-benar presisi. Ukuran panjang material yang digunakan adalah 7000 mm, tebal 10 mm dengan root gap 5–8 mm.



3. Proses fit up posisi 3G pada kedua blok H02C dan H03C

Fit up posisi 3G merupakan proses penyetelan dan penyambungan dua material sebelum pengelasan dilakukan pada posisi vertikal. Posisi ini termasuk posisi yang cukup sulit karena cairan logam las mudah turun akibat gravitasi, sehingga proses fit up harus presisi agar hasil pengelasan tetap baik. Ukuran panjang material yang digunakan adalah 2400 mm dengan tebal 8 mm, root gap 7–8 mm.



Gambar 4. Posisi 3G pada kedua blok H02C dan H03C

2.5 Proses pengambilan sample

Setelah proses fit-up selesai dan telah dilakukan pemeriksaan alignment serta gap sesuai dan presisi, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan yang dilakukan oleh welder. Berikut ditampilkan hasil dari setiap proses fit-up yang telah dilaksanakan di atas, termasuk dokumentasi foto.

Posisi fit up	Standar acuan fit up	Foto dokumentasi hasil pengukuran gap	Tahap proses pemasangan becking keramik	Foto dokumentasi hasil pengelasan
1G	AWS D1.1			
2G	AWS D1.1			

3G	AWS D1.1			
----	----------	---	--	---

Contoh Kriteria ACC/reject Standar Class ABS

AWS D1.1 Acceptance Criteria — Overview				
No	Project No	Blok	Jenis Inpection	Remaks/Status
1	PPS (004) Ropax	Water Ballast Tank 2 (C)	Visual (Weld)	Satisfied
2	PPS (004) Ropax	Anchor (Starboard Side)	Visual (Weld)	Satisfied
3	PPS (004) Ropax	Fresh Water Tank 8 (P)	Visual (Weld)	Plate of TBAR center girder should be 150 mm (width)
4	PPS (004) Ropax	Water Ballast Tank 8 (C)	Visual (Weld)	Bracket is to be verified in the approved drawing

Tabel 3.Kriteria inspection class ABS

Berdasarkan hasil pemeriksaan visual yang mengacu pada ketentuan klasifikasi ABS pada tabel di atas, sebagian besar sambungan las dinyatakan satisfied atau memenuhi kriteria penerimaan. Namun demikian, terdapat dua temuan yang memerlukan tindak lanjut, yaitu ketidaksesuaian lebar plat TBAR center girder pada Fresh Water Tank 8 dan kebutuhan verifikasi ulang posisi bracket terhadap gambar kerja (approved drawing). Temuan ini menunjukkan bahwa ketidaksesuaian hasil inspeksi visual pada umumnya bukan disebabkan oleh kegagalan proses pengelasan itu sendiri, melainkan oleh dimensi komponen dan penempatan bagian struktur terhadap spesifikasi gambar. Hal ini menegaskan pentingnya pengecekan dimensi dan kesesuaian gambar kerja pada tahap fit up sebelum pengelasan dilaksanakan, agar potensi ketidaksesuaian dapat dideteksi lebih awal dan tidak menimbulkan pekerjaan ulang (rework) pada tahap akhir konstruksi.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil pengukuran hasil awal fit up dan setelah pengelasan

Pengukuran parameter fit up dilakukan pada setiap sambungan sebelum dan sesudah proses pengelasan untuk mengetahui besarnya perubahan dimensi (distorsi) yang terjadi akibat masukan panas (heat input) selama pengelasan. Pengukuran dilakukan menggunakan meteran pada beberapa titik di sepanjang garis sambungan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4 (Pengukuran 1 sampai dengan Pengukuran 4).

Hasil pengukuran setelah fit up					
Proses fit up	Part	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4
Posisi 1G	1	18240	8200	8200	8200
	2	18200	7584	7584	7584
	3	15700	9000	9000	9000
Posisi 2G	1	10400	7000	7000	7000
	2	2000	3425	3425	3425
	3	2550	5980	5980	5980
Posisi 3G	1	10510	2400	2400	2400
	2	7390	3030	3030	3030
	3	11600	2400	2400	2400

Tabel 1. Hasil pengukuran awal proses fit up

Berdasarkan Tabel 1, data hasil pengukuran awal proses fit up menunjukkan bahwa nilai Pengukuran 2, Pengukuran 3, dan Pengukuran 4 pada setiap part memiliki nilai yang identik, misalnya pada posisi 1G part 1 sebesar 8200 mm, part 2 sebesar 7584 mm, dan part 3 sebesar 9000 mm. Kondisi serupa juga terjadi pada posisi 2G dan 3G, di mana ketiga titik pengukuran tersebut konsisten tidak mengalami perubahan. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi fit up, baik root gap maupun distorsi antar part, telah berada dalam kondisi stabil dan siap untuk dilanjutkan ke tahap pengelasan, sehingga variasi hasil pengukuran ulang (repeatability) pada tahap ini relatif kecil. Sementara itu, nilai Pengukuran 1 pada setiap posisi cenderung berbeda cukup signifikan dibandingkan dengan Pengukuran 2 hingga Pengukuran 4. Sebagai contoh, pada posisi 1G part 1, Pengukuran 1 tercatat sebesar 18240 mm, jauh lebih besar dibandingkan Pengukuran 2-4 yang hanya 8200 mm. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan parameter yang diukur, di mana Pengukuran 1 merepresentasikan panjang total sambungan (overall joint length) pada tahap awal fit up, sedangkan Pengukuran 2 hingga Pengukuran 4 merupakan hasil pengukuran gap akhir setelah proses penyesuaian (adjustment) dan penguncian sementara (tack weld) dilakukan. Selain itu, dapat dilihat pula bahwa besaran nilai pengukuran bervariasi antar posisi fit up. Posisi 1G memiliki nilai pengukuran yang relatif paling besar (8200-9000 mm), diikuti oleh posisi 2G (3425-7000 mm), sedangkan posisi 3G menunjukkan nilai yang paling kecil (2400-3030 mm). Variasi ini berkaitan dengan perbedaan dimensi part dan panjang sambungan pada masing-masing posisi pengelasan, yang selanjutnya menjadi acuan (baseline) untuk membandingkan besarnya distorsi yang terjadi setelah proses pengelasan sebagaimana disajikan pada Tabel 2 berikut.

Hasil pengukuran setelah pengelasan					
Proses pengelasan	Part	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Pengukuran 4
Posisi 1G	1	18240	8200	8190	8200
	2	18200	7584	7574	7584
	3	15700	9000	8990	9000
Posisi 2G	1	10400	7000	6995	7000
	2	2000	3425	3420	3425
	3	2550	5980	5975	5980
Posisi 3G	1	10510	2400	2400	2400
	2	7390	3030	3030	3030
	3	11600	2400	2400	2400

Tabel 2. Hasil pengukuran akhir setelah proses pengelasan

Temuan pada penelitian ini sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2 memperkuat mekanisme tersebut, karena besarnya distorsi yang terukur berbanding lurus dengan orientasi pengelasan dan panjang lintasan sambungan pada masing-masing posisi. Posisi 1G, yang dikerjakan pada bidang datar

dengan dimensi plat yang relatif lebih panjang, memungkinkan waktu paparan panas (heat input) yang lebih lama pada material di sepanjang garis pengelasan. Kondisi ini menyebabkan volume logam yang mengalami siklus ekspansi-kontraksi menjadi lebih besar, sehingga distorsi yang dihasilkan pun paling besar di antara ketiga posisi (sekitar 10 mm). Sebaliknya, posisi 3G yang dikerjakan secara vertikal dengan geometri sambungan yang lebih pendek memiliki durasi pemanasan yang lebih singkat, sehingga panas dapat terdistribusi dan menyeimbangkan diri dengan lebih cepat antara logam las dan material sekitarnya. Selain faktor posisi pengelasan, kondisi fit up sebelum pengelasan turut berkontribusi terhadap besarnya distorsi yang dihasilkan. Root gap yang tidak seragam antar sambungan menyebabkan volume logam pengisi (filler metal) yang dibutuhkan untuk menutup celah juga bervariasi pada tiap titik, sehingga menimbulkan perbedaan besaran heat input yang diterima material di sepanjang sambungan. heat input inilah yang pada gilirannya memicu pola penyusutan yang tidak merata dan berkontribusi terhadap besarnya distorsi dimensi yang teramati pada Tabel 2. Dengan demikian, distorsi pasca pengelasan pada penelitian ini dapat dipahami sebagai akibat kumulatif dari dua faktor utama, yaitu besarnya dan durasi heat input yang diterima material selama pengelasan, serta tingkat kesesuaian (fit up) sambungan sebelum proses pengelasan dilaksanakan.

3.2 Hasil Penelitian Visual Las Menggunakan NDT

Pemeriksaan kualitas sambungan las dilakukan menggunakan metode Non-Destructive Testing (NDT), yaitu Penetrant Testing (PT) yang mengacu pada standar AWS D1.1 dan/atau ketentuan class American Bureau of Shipping (ABS). Pemeriksaan bertujuan untuk mengidentifikasi cacat permukaan seperti porosity, undercut, lack of fusion, dan incomplete penetration pada setiap sampel hasil pengelasan (Gambar 5, 6, dan 7).

No	Posisi	Metode NDT	Jenis Cacat Ditemukan	Hasil Setelah inspeksi	Status (Accept/Reject)
1	1G	Penetrant Testing (PT)	Porosity		Accept
2	2G	Penetrant Testing (PT)	Porosity		Accept
3	3G	Penetrant Testing (PT)	Hanya di temukan beberapa Spatter		Accept

Tabel 4. Hasil inspeksi Penetrant Testing (PT)

Berdasarkan hasil pengujian Penetrant Testing (PT) pada Tabel 4, ketiga sampel yang diuji pada posisi 1G, 2G, dan 3G seluruhnya dinyatakan *accept* sesuai kriteria penerimaan yang digunakan. Meskipun demikian, pada posisi 1G dan 2G masih ditemukan cacat permukaan berupa *porosity*, sedangkan pada posisi 3G hanya ditemukan *spatter* minor tanpa indikasi cacat lain yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan hasil pengukuran distorsi sebelumnya, di mana posisi 1G dan 2G mengalami distorsi dimensi yang lebih besar dibandingkan posisi 3G. Hal ini mengindikasikan adanya kecenderungan hubungan antara besarnya distorsi akibat proses fit up dengan munculnya cacat las, yaitu semakin besar distorsi yang terjadi, semakin besar pula kemungkinan munculnya cacat permukaan seperti *porosity*, meskipun cacat tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan (*accept*). Kondisi ini diduga terjadi karena distorsi yang besar dapat menyebabkan ketidaksesuaian *root gap* dan *heat input* yang tidak merata selama proses pengelasan, sehingga meningkatkan potensi terperangkapnya gas dalam logam las, walaupun belum sampai pada tingkat yang menyebabkan kegagalan sambungan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai Pengaruh Fit Up Joint Erection Blok Terhadap Kualitas Sambungan Las dengan variasi fit up 1G, 2G, 3G, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Variasi pada proses fit up root gap dan distorsi pada proses joint erection kapal Ro-Ro terbukti memengaruhi besarnya distorsi dimensi yang terjadi setelah proses pengelasan. Distorsi terbesar terjadi pada posisi 1G (sekitar 10 mm), diikuti posisi 2G (sekitar 5 mm), sedangkan posisi 3G tidak menunjukkan distorsi sama sekali.
2. Posisi fit up 1G dan 2G dengan distorsi yang lebih besar menghasilkan cacat las berupa *porosity*, namun cacat tersebut masih berada dalam batas toleransi sehingga tetap dinyatakan *accept* pada pemeriksaan Penetrant Testing (PT). Sementara itu, posisi 3G yang tidak mengalami distorsi menunjukkan kualitas las terbaik, dengan hanya ditemukan *spatter* minor pada permukaan las.
3. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual terhadap ketentuan klasifikasi ABS, ketidaksesuaian yang ditemukan pada umumnya berkaitan dengan dimensi komponen dan kesesuaian gambar kerja, bukan akibat kegagalan proses pengelasan, sehingga pengendalian kualitas pada tahap fit up perlu dilakukan secara ketat sebelum pengelasan dilaksanakan.
4. Proses fit up yang direkomendasikan agar menghasilkan sambungan las yang baik adalah root gap yang seragam sesuai toleransi masing-masing posisi pengelasan (1G, 2G, 3G) serta proses penyetelan yang presisi antar blok, guna meminimalkan distorsi dan cacat las pada proses joint erection kapal Ro-Ro.
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis bagi galangan kapal dalam menetapkan standar toleransi fit up untuk meningkatkan kualitas pengelasan sesuai ketentuan ABS.

5 Daftar Pustaka

- [1] Kim, J., Lee, S., & Park, H. (2024). The prediction of deformation in the process of erecting ship blocks based on inherent strain approach. *Marine Structures*, 96, 103610.
- [2] Chen, X., Liu, Y., Zhang, H., & Wang, T. (2022). Study on the mechanical properties and defect detection of low alloy steel weldments for large cruise ships. *Ocean Engineering*, 258, 111815.
- [3] TWI Global. (2023). The importance of welding quality in ship construction.
- [4] Crupi, V., Epasto, G., Distefano, F., & Brando, G. (2025). *Dissimilar welded joints for ship structures*. Technology and Science for the Ships of the Future.
- [5] Sulaiman, S., & Sugeng, S. (2019). Pengaruh Fit Up Joint Erection Terhadap Kualitas Sambungan Las Pada Lambung Kapal. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 45-50.
- [6] Garuda Kemdiktisaintek. (2021). Analisis kualitas pengelasan pada konstruksi kapal baja.
- [7] Adedeji, W. O., Molokwu, I. M., & Oyerinde, B. J. (2025). A review on structural integrity of welded joints in naval ship systems: Failure mechanisms and predictive modelling approach. *Uniosun Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 7(2), 1–14.