

“Evaluasi Kecedapan Sambungan Las pada *Side Shell* dan *Bottom* Kapal Barge Menggunakan Metode *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test*”

Farel*¹, Tiwi Gustria Ningsih 1* and Siti Adriani 2*

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

¹E-mail: ffarel120603@gmail.com

Abstrak

Kualitas sambungan las pada konstruksi kapal berperan penting dalam menjamin kekuatan struktur dan keselamatan operasional kapal, khususnya pada bagian *Side Shell* dan *Bottom* yang berfungsi sebagai pembatas ruang kedap air serta menahan beban hidrostatik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kecedapan sambungan las menggunakan metode *Air Pressure Test* dan menganalisis kemampuan *Radiographic Test* sebagai pembandingan dalam mendeteksi cacat las pada kapal Barge 54 meter. *Air Pressure Test* dilakukan dengan tekanan udara 0,2 bar menggunakan larutan sabun pada 18 Void di area *Side Shell* dan *Bottom*, sedangkan data *Radiographic Test* diperoleh dari laporan NDT pada konstruksi kapal sejenis (bukan pada kapal yang sama dengan objek pengujian *Air Pressure Test*) menggunakan isotop Ir-192, teknik *Single Wall Single Viewing*, dan standar ISO 5817 Annex 6 pada 24 joint. Hasil menunjukkan bahwa 10 Void (55,56%) dinyatakan *Accept with Repair* akibat cacat *Overlap*, *Undercut*, dan *Porosity*, sementara 8 Void (44,44%) dinyatakan *Accept*. Pada *Radiographic Test*, 4 joint (16,67%) dinyatakan *Repair* akibat cacat *Incomplete Fusion (IF)* dan *Crack/Porosity (CP)* yang seluruhnya berada di area *Bottom*, sedangkan 20 joint (83,33%) dinyatakan *Accept*. Kedua metode terbukti saling melengkapi, *Air Pressure Test* efektif mendeteksi kebocoran aktual, sedangkan *Radiographic Test* mampu mengidentifikasi cacat *Internal* yang tidak terdeteksi secara visual. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam menganalisis fungsi dan kemampuan *Air Pressure Test* serta *Radiographic Test* sebagai metode inspeksi yang saling melengkapi pada pengendalian kualitas sambungan las.

Kata kunci: *Air Pressure Test, Radiographic Test, Sambungan Las, Kecedapan, Kapal Barge.*

Abstract

The quality of welded joints in ship construction plays an important role in ensuring the structural strength and operational safety of the ship, especially in the Side Shell and Bottom Sections which function as watertight space dividers and withstand hydrostatic loads. This study aims to evaluate the tightness of welded joints using the Air Pressure Test method and analyze the ability of the Radiographic Test as a comparison in detecting welding defects on a 54-meter Barge ship. Air Pressure Test was carried out with an Air Pressure Test of 0.2 bar using a soap solution on 18 Voids in the Side Shell and Bottom areas, while Radiographic Test data was obtained from NDT reports on similar ship construction (not the same vessel used for the Air Pressure Test using the Ir-192 isotope, Single Wall Single Viewing technique, and ISO 5817 Annex 6 standards on 24 joints. The results showed that 10 Voids (55,56%) were declared Accept with Repair due to Overlap, Undercut, and Porosity defects, while 8 Voids (44,44%) were declared Accept. In the Radiographic Test, 4 joints (16,67%) were declared Repair due to Incomplete Fusion (IF) and Crack/Porosity (CP) defects which were all located in the Bottom area, while 20 joints (83,33%) were declared Accept. Both methods are proven to complement each other, Air Pressure Test is effective in detecting actual leaks, while the Radiographic Test is able to identify Internal defects that are not visually detected. This study contributes to analyzing the function and capabilities of Air Pressure Test and Radiographic Test as complementary inspection methods in controlling the quality of welded joints.

1. Pendahuluan

Galangan kapal merupakan industri yang bergerak dalam pembangunan dan perbaikan kapal. Galangan kapal memiliki peran krusial dalam mengembangkan transportasi laut di suatu negara. Dalam proses pembangunan kapal, salah satu aspek yang sangat penting untuk diperhatikan adalah kualitas konstruksi kapal, khususnya pada pekerjaan pengelasan. Pengelasan merupakan proses penyambungan material yang banyak digunakan pada konstruksi kapal dan berperan penting dalam menjamin kekuatan serta kededapan struktur lambung kapal. Oleh karena itu, diperlukan *Quality Control (QC)* untuk memeriksa mutu dari hasil *welding* yang telah dilakukan pada lambung kapal [1]. *Bottom* dan *Side Shell* merupakan bagian dari konstruksi utama kapal yang berfungsi sebagai pembatas ruang kedap air sekaligus elemen yang menahan beban hidrostatis selama kapal beroperasi. Pada kapal *Barge*, kualitas kededapan sambungan las pada bagian *Bottom* dan *Side Shell* sangat berpengaruh terhadap keselamatan dan keandalan kapal. Pengujian kededapan dibutuhkan untuk mencegah kecelakaan seperti kebocoran yang membahayakan muatan maupun struktur kapal itu sendiri [2]. Kondisi kapal yang terjaga dengan baik sangat penting untuk menjamin keselamatan selama pelayaran, termasuk dalam mencegah kebocoran pada lambung kapal.

Untuk memastikan kualitas sambungan las pada konstruksi lambung kapal, terdapat berbagai metode pengujian yang dapat digunakan. Salah satu metode yang umum diterapkan di galangan kapal adalah *Air Pressure Test*. Metode ini efektif dalam mendeteksi kebocoran pada sambungan las melalui pemberian tekanan udara sebesar 0,2 bar, disertai penggunaan larutan sabun untuk mengidentifikasi titik kebocoran secara visual [3]. Metode *Air Pressure Test* bersifat langsung dan mudah diterapkan di lapangan, sehingga banyak digunakan sebagai standar kededapan di berbagai galangan kapal.

Namun demikian, *Air Pressure Test* memiliki keterbatasan dalam mendeteksi cacat *Internal* pada sambungan las seperti *Porosity*, *Incomplete Fusion* dan retak mikro (*crack*) yang berada di dalam material. Untuk mendeteksi cacat tersebut diperlukan metode pengujian tak merusak NDT (*Non-Destructive Testing*) yang lebih mendalam, salah satunya adalah *Radiographic Test (RT)*. Metode RT menggunakan radiasi pengion sinar *Gamma* untuk menghasilkan gambar *Internal* sambungan las, sehingga cacat yang tidak terlihat dari luar dapat teridentifikasi dengan jelas. *Radiographic Test* merupakan metode paling andal untuk mendeteksi cacat tiga dimensi seperti *Porosity* dan *slag inclusion* pada pelat las dibandingkan metode NDT lainnya [4].

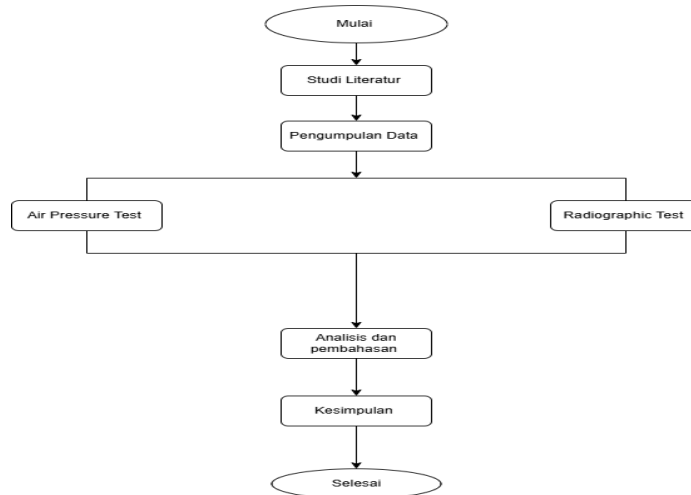
Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai metode pengujian kededapan dan NDT (*Non-Destructive Testing*) pada konstruksi kapal. Penelitian [1] hanya berfokus pada pengujian kebocoran menggunakan metode *Air Pressure Test*, tanpa membandingkan dengan metode NDT (*Non-Destructive Testing*) lainnya. Sementara itu, penelitian oleh [5] hanya membahas metode NDT (*Non-Destructive Testing*) efektif dalam mengidentifikasi jenis dan lokasi cacat las pada lambung kapal, tanpa mengaitkannya dengan pengujian kededapan secara langsung.

Selain itu, belum ada penelitian yang secara khusus membandingkan metode *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test* secara langsung pada bagian yang sama, yaitu bagian *Side Shell* dan *Bottom* kapal *Barge*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kededapan sambungan las pada bagian *Side Shell* dan *Bottom* kapal *Barge* menggunakan metode *Air Pressure Test*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kemampuan metode *Radiographic Test* sebagai data pembanding dalam mendeteksi cacat *Internal* sambungan las pada konstruksi lambung kapal. Perlu dijelaskan bahwa data *Radiographic Test* yang digunakan berasal dari kapal sejenis yang berbeda dari objek pengujian *Air Pressure Test*, sehingga perbandingan yang dilakukan bersifat fungsional terhadap kemampuan deteksi masing-masing metode, bukan perbandingan langsung pada spesimen yang sama.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah pengujian. *Air Pressure Test* hanya difokuskan pada area *Side Shell* dan *Bottom* kapal *Barge* di galangan X dengan tekanan pengujian sebesar 0,2 bar. Data *Radiographic Test* yang digunakan merupakan data sekunder dari laporan pengujian NDT (*Non-Destructive Testing*) pada konstruksi lambung kapal sejenis yang dilakukan pihak ketiga bersertifikasi dan digunakan sebagai studi pembanding kemampuan metode dalam mendeteksi cacat las. Penelitian ini tidak membahas analisis kekuatan struktur, faktor material maupun pengujian lain di luar *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test*. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai bahan evaluasi terhadap kualitas sambungan las pada konstruksi kapal, khususnya pada pengujian kededapan menggunakan *Air Pressure Test*. Selain itu hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi mahasiswa maupun pihak galangan kapal dalam memahami penerapan metode pengujian kededapan dan NDT (*Non-Destructive Testing*) pada konstruksi lambung kapal.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua pendekatan pengujian. Pertama, pengujian *Air Pressure Test* dilakukan secara langsung di lapangan pada sambungan las *Bottom* dan *Side Shell* di galangan X. Kedua, data *Radiographic Test* dari laporan NDT pada konstruksi lambung kapal sejenis digunakan sebagai studi pembandingan. Data atau area yang ditemukan mengalami kebocoran atau cacat las diberi tanda untuk diperbaiki. Adapun *Flowchart* alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian ini

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan digunakan pada penelitian ini meliputi dua kelompok sesuai metode pengujian. Untuk *Air Pressure Test*: kompresor, selang kompresor, pipa *Input* dan *Output*, selang spiral, *packing* karet, peralatan dan perlengkapan (*Toolkit*) dan air sabun. Untuk data pembandingan *Radiographic Test*: data laporan hasil *Radiographic Test* berupa *Report* dari hasil dari galangan X yang mencakup pengujian pada *Bottom* dan *Side Shell* kapal sejenis dengan standar ISO 5817 (*Annex 6*).

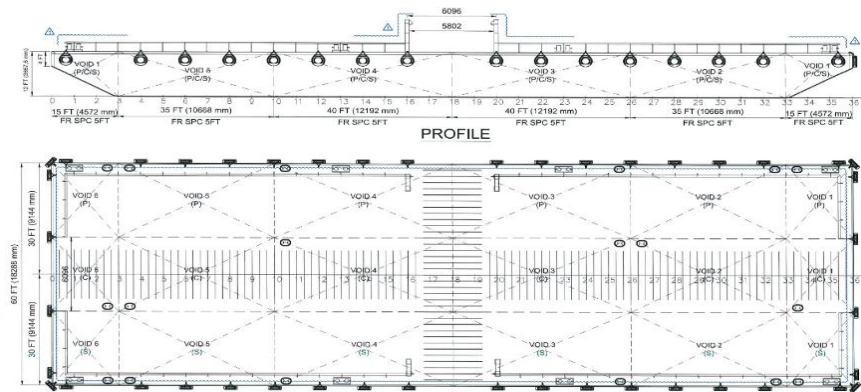
2.2 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah kapal *Barge* yang berfungsi sebagai kapal angkut tanpa penggerak sendiri untuk membawa muatan curah, material konstruksi, maupun peralatan berat melalui perairan sungai, pesisir, dan laut dangkal. Kapal *Barge* umumnya dioperasikan dengan bantuan kapal penarik (*tugboat*) dalam proses manuver maupun pendorong selama kegiatan operasional [5]. Sebagai data pembandingan digunakan laporan *Radiographic Test* dari kapal sejenis yang diuji menggunakan standar ISO 5817.

Pada Tabel 1 menampilkan *Principal Dimension*, yaitu kapal *Barge*. Berikut merupakan *Principal dimension* atau data ukuran utama kapal *Barge* dan Gambar 2 menampilkan *General Arrangements* dari kapal *Barge*.

Tabel 1. *Principal Dimension*

No	Dimensi	Ukuran (m)
1	<i>Length Overall (LOA)</i>	54
2	<i>Beam</i>	18,3
3	<i>Depth</i>	3,66
4	<i>Draft</i>	2,4



Gambar 2. General Arrangements

2.3 Spesifikasi Area Pengujian Bottom dan Side Shell (External)

Sebagai dasar dalam penentuan area dan parameter pengujian, pada Tabel 2 menampilkan spesifikasi tangki yang akan dilakukan pengujian yaitu:

Tabel 2. Spesifikasi Bottom dan Side Shell

No	Nama	Panjang	Lebar	Tinggi	Luas Area yang diuji (m ²)
1	Bottom Fr 0-3 P/C/S	10,66	6,09	-	38,90
2	Side Shell Fr 0-3 P/S	10,66	-	Fr0: 1,21 Fr3: 3,65	11,09
3	Bottom Fr 3-9 P/C/S	10,66	6,09	-	64,91
4	Side Shell Fr 3-9 P/S	10,66	-	3,65	38,90
5	Bottom Fr 9-18 P/C/S	12,19	6,09	-	74,23
6	Side Shell Fr 9-18 P/S	12,19	-	3,65	44,49
7	Bottom Fr 18-26 P/C/S	12,19	6,09	-	64,91
8	Side Shell Fr 18-26 P/S	12,19	-	3,65	44,49
9	Bottom Fr 26-33 P/C/S	10,66	6,09	-	64,91
10	Side Shell Fr 26-33 P/S	10,66	-	3,65	38,90
11	Bottom Fr 33-36 P/C/S	10,66	6,09	-	38,90
12	Side Shell Fr 33-36 P/S	10,66	-	Fr0: 1,21 Fr3: 3,65	11,09

2.4 Pengujian Air Pressure Test

Air Pressure Test adalah metode untuk memastikan kedekatan dan keamanan sambungan las pada tangki, lambung kapal, pipa, atau ruang tertentu agar tidak terjadi kebocoran yang dapat membahayakan struktur dan operasional kapal. Pengujian dilakukan dengan memasukkan udara bertekanan ke dalam sistem yang diuji, kemudian seluruh saluran ditutup rapat. Tekanan digunakan pada galangan X 0,2 bar, sesuai standar industri perkapalan.

Berdasarkan SOLAS Regulation 14 Chapter II, pengujian dilakukan setelah konstruksi atau perbaikan untuk memastikan kekuatan dan kedekatan struktur kapal, khususnya pada bagian lambung dan tangki. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Air Pressure Test* dengan tekanan 0,2 bar [6]. Proses pengujian harus dilakukan secara menyeluruh dan didokumentasikan dengan mencatat lokasi serta detail kebocoran yang ditemukan. Apabila terdapat ketidaksesuaian standar yang ditetapkan, perbaikan wajib dilakukan yang kemudian diikuti dengan pengujian ulang sehingga memenuhi standar yang ditetapkan. Pengujian ini juga di bawah pengawasan otoritas terkait sehingga kapal tidak diperkenankan untuk berlayar sebelum memenuhi ketentuan keselamatan yang ditetapkan bagi kapal dan awaknya [7]. Selain itu, berdasarkan standar BKI Volume 2 Section 12-H (*Testing for Tightness*) pengujian kedekatan tangki dan kompartemen harus mengikuti klasifikasi dan survei yang berlaku.

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas, Gambar 3 menunjukkan prosedur pengujian *Air Pressure Test* pada kompartemen kapal berdasarkan standar industri.



Gambar 3. Prosedur *pressure test*

2.4.1 Langkah Pengujian

Air Pressure Test biasa digunakan untuk menguji kebocoran atau kekuatan tangki, pipa, atau sambungan hasil pengelasan dengan memanfaatkan tekanan udara. Berikut adalah tahapan yang dilakukan:

1. Tutup *Manhole* tangki dibuka terlebih dahulu.
2. Pengecekan dilakukan pada area las bagian dalam dan luar yang akan diuji.
3. Area dalam tangki dibersihkan dari air, lumpur, dan kotoran lainnya.
4. Area las dipastikan dalam kondisi bersih dari kerak las.
5. Tutup *Manhole* ditutup kembali untuk proses pengisian udara.
6. *Valve* pada pipa *Input* diatur/dibuka untuk mengalirkan udara ke dalam tangki melalui sambungan selang kompresor.
7. Tekanan dalam tangki dipantau hingga mencapai 0,2 bar, dan pada pengujian ini digunakan media bantu berupa selang air hingga mencapai ketinggian 2 meter.

Untuk memastikannya menggunakan rumus berikut:

$$P = 0,0981 \text{ h SG (bar)} \quad (1)$$

Di mana

P = *pressure* (tekanan)

H = Ketinggian permukaan

SG = *Specific Gravity* (berat jenis) *air*

Contoh bila ketinggian air di dalam selang 2 m maka:

$$P = 0,0981 \times 2 \times 1,00$$

$$= 0,1962 \text{ bar}$$

$$= 0,2 \text{ bar}$$

2.4.2 Pemeriksaan hasil pengujian *Air Pressure Test*

Pemeriksaan hasil pengujian *Air Pressure Test* merupakan proses untuk menguji kedapatan sambungan pengelasan atau tangki menggunakan udara bertekanan 0,2 bar. Dalam metode ini, larutan air sabun digunakan untuk mendeteksi kebocoran halus pada sambungan las di lambung kapal. Fungsi utama dari penggunaan larutan sabun adalah untuk memberikan indikasi visual jika terdapat kebocoran, akan muncul gelembung busa akibat udara yang keluar dari titik tersebut. Titik-titik yang ditemukan bocor kemudian ditandai sebagai area yang perlu diperbaiki. Proses pemeriksaan ini biasanya dilakukan bersama dengan pihak klasifikasi untuk memastikan bahwa seluruh sambungan las atau struktur yang diuji telah benar-benar kedap dan memenuhi standar keselamatan[6].

2.5 *Radiographic Test*

Radiographic Test adalah metode pengujian tak merusak NDT (*Non-Destructive Testing*) yang menggunakan radiasi pengion berupa sinar *Gamma* (isotop Ir-192) untuk mendeteksi cacat *Internal* pada sambungan las. Metode ini mampu mengidentifikasi cacat yang tidak dapat terdeteksi secara visual maupun melalui *Air Pressure Test*, seperti *Porosity*, *Incomplete Fusion*, *Incomplete Penetration*, dan retak *Internal*. Hasil pengujian berupa gambar radiografi pada film yang kemudian diinterpretasikan oleh inspektur NDT bersertifikasi. Penelitian dari [8] juga menunjukkan bahwa *Radiographic Test* memiliki kemampuan lebih tinggi dibandingkan metode NDT lain dalam mendeteksi cacat *Incomplete Fusion* pada pelat baja konstruksi kapal, sehingga metode ini relevan digunakan sebagai pembanding yang relevan terhadap *Air Pressure Test* dalam penelitian ini.

Dalam penelitian ini *Radiographic Test* yang digunakan merupakan data sekunder dari laporan *Radiographic Test Report* oleh galangan X. Pengujian *Radiographic Test* dilakukan pada bagian *Bottom* dan *Side Shell* dengan menggunakan isotop Ir-192, *Single Wall Single Viewing*, dan mengacu pada standar 5817 Annex 6. Data ini digunakan sebagai pembanding untuk menganalisis kemampuan kedua metode dalam mendeteksi jenis dan lokasi cacat las pada konstruksi lambung kapal sejenis.

2.6 Spesifikasi Teknis dan Area Pengujian *Radiographic Test*

Sebagai dasar dalam penentuan area dan parameter pengujian, Tabel 3 berikut menyajikan spesifikasi teknis *Radiographic Test*, selanjutnya, Tabel 4 menyajikan spesifikasi area pengujian yang meliputi lokasi pengujian *Radiographic Test*.

Tabel 3. Spesifikasi Teknis *Radiographic Test*

A. Identifikasi Objek Uji		
No	Parameter	Nilai
1	Nama Part	<i>Side Shell & Bottom</i>
2	Jenis Material	<i>Carbon Steel</i>
3	Proses Pengelasan	SMAW – FCAW – SAW
4	Tebal Material	12 mm
5	Tebal Weld	3 mm
B. Spesifikasi Radiasi		
7	Isotop	Ir-192
8	Size	2 × 3 mm
C. Spesifikasi Film		
9	Tipe Film	<i>FUJI HD 100 D7</i>
10	Dimensi Film	4 × 15 in
11	Tebal <i>Lead Screen</i>	0,125 mm
D. Teknik Pengujian		
12	Metode	<i>Single Wall Single Viewing (SWSV)</i>
13	Waktu Exposure	25 detik
14	Jarak SFD Min & max	355,6 mm (Min) & 368 mm (Max)
15	IQI (<i>Image Quality Indicator</i>)	3

Tabel 4. Spesifikasi Area Pengujian *Radiographic Test*

No	Part	Joint No.	Standar	Teknik
1	Bottom	27-44	ISO 5817 Annex 6	Single Wall Single Viewing
2	Side Shell Port	45-47	ISO 5817 Annex 6	Single Wall Single Viewing
3	Side Shell Starboard	48-50	ISO 5817 Annex 6	Single Wall Single Viewing

2.7 Proses *Radiographic Test*

1. *Cleaning Area Radiographic Test*
Sebelum dilakukan *Radiographic Test*, bagian dalam dan luar material yang akan dilakukan pengujian harus bebas dari kotoran maupun distorsi yang dapat menutupi atau mengganggu sehingga hasil dari *Radiographic Test* tidak maksimal. Area yang akan di *Radiographic Test* setidaknya bersih.
2. *Persiapan Source Tube*
Sinar *Gamma* didapatkan dari bahan radioaktif seperti *cobalt-60* *iridium-192* dan *cesium-137*. *Source Tube* adalah mesin yang digunakan untuk menghasilkan sinar *Gamma* sekaligus digunakan untuk menembakkan sinar *Gamma* ke material yang akan dilakukan pengujian *Radiographic Test*.
3. *Pemasangan Lead Screen dan Film Viewer*.
Lead Screen adalah lembaran timah dengan ketebalan 0,125 mm yang dipasang pada bagian depan belakang dari *Film Viewer*. Pemasangan *Lead screen* bertujuan supaya *Film Viewer* tidak terbakar karena langsung terpapar oleh sinar *Gamma*, selain itu pemasangan *Lead Screen* juga bertujuan agar hasil dari pengujian bisa terlihat dengan jelas
Sedangkan untuk *Film Viewer* sendiri adalah alat yang akan membaca atau menangkap hasil dari proses pengujian *Radiographic Test*. *Film Viewer* terdapat atas dua, yaitu *Film Viewer* berwarna dasar biru dan *Film Viewer* berwarna dasar hijau.
4. *Proses penembakan Sinar Gamma*
Sebelum melakukan proses penembakan pastikan area disekitar aman dari dampak paparan radiasi pada saat proses penembakan berlangsung. Biasanya sebelum melakukan penembakan terlebih dahulu memasang *survey meter* yang berfungsi untuk mengetahui kadar radiasi yang dihasilkan pada saat proses pengujian dilakukan
Proses penembakan sinar *Gamma* tidak boleh terlalu dekat maupun terlalu jauh dari material yang akan diuji. Jika *Source* terlalu dekat, hasil radiografi dapat kurang maksimal. Jarak minimal penembakan adalah 1,5 kali panjang material yang akan diuji, atau setara dengan satu jangkauan tangan.
5. *Pengamatan Hasil Radiographic Test*
Pengamatan dari hasil *Radiographic Test* tidak bisa langsung dilakukan setelah pengujian selesai. Sebelum bisa melihat hasil pengujian pada *Film Viewer*, *Film Viewer* terlebih dahulu melewati proses pencucian, dimana proses pencucian ini harus berada pada ruangan yang minim dengan cahaya. Setelah proses pencucian selesai barulah *Film Viewer* bisa dilakukan pengamatan dari pengujian *Radiographic Test*

2.7.1 Prosedur Pembacaan Hasil *Radiographic Test*

Pembacaan hasil *Radiographic Test* dilakukan dengan menganalisis laporan yang mencakup

1. Identifikasi *joint number* dan lokasi pengujian (*Bottom* dan *Side Shell*).
2. Hasil penerimaan (ACC = Accept / REJ = Repair.) berdasarkan standar ISO 5817 Annex 6.
3. Nilai densitas film (min–max) untuk memastikan kualitas gambar radiografi.
4. Jenis diskontinuitas yang terdeteksi: IF (*Incomplete Fusion*), IP (*Incomplete Penetration*), CP (*Crack/Porosity*), RUC (*Root Undercut*), P (*Porosity*), Incl (*Inclusion*), Ctk (*Crack*), ND (*No Defect*).
5. Catatan perbaikan (*Repair.*) pada *joint* yang tidak memenuhi standar.

3. Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Report kebocoran *Bottom* dan *Side Shell* (*Air Pressure Test*)

Berdasarkan hasil *Air Pressure Test* pada 18 area pengujian, ditemukan sebanyak 10 area mengalami kebocoran sehingga dinyatakan *Accept with Repair*, sedangkan 8 area lainnya dinyatakan *Accept* karena tidak ditemukan indikasi kebocoran. Hasil tersebut mengacu pada ketentuan BKI *Volume II Rules for Hull, Section 12-H (Testing For Tightness)* yang menyatakan bahwa pengujian kekedapan tangki dilakukan dengan tekanan udara 0,2 bar [6], apabila selama pengujian ditemukan indikasi kebocoran maka area tersebut wajib diperbaiki dan dilakukan pengujian ulang hingga memenuhi persyaratan kekedapan. Dengan demikian, persentase area yang memerlukan perbaikan mencapai 55,56% sedangkan area yang memenuhi standar kekedapan tanpa perbaikan sebesar 44,44%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kebocoran terjadi pada area sambungan las yang memiliki geometri kompleks seperti *Corner* dan *Roundbar*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kualitas proses pengelasan masih memerlukan pengendalian yang lebih baik untuk meminimalkan potensi kebocoran pada konstruksi lambung kapal. Tabel 5 menyajikan hasil pengujian *Air Pressure Test*.

Tabel 5. Hasil pengujian *Air Pressure Test*

No	Void / Area	Bagian Kapal	Lokasi Kebocoran	Hasil Pengujian
1	Void 1 P	<i>Side Shell / Corner</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Accept with Repair.</i>
2	Void 1 C	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Accept with Repair.</i>
3	Void 1 S	<i>Side Shell / Corner</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Accept with Repair.</i>
4	Void 2 P	<i>Side Shell</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
5	Void 2 C	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Accept with Repair.</i>
6	Void 2 S	<i>Side Shell</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
7	Void 3 P	<i>Side Shell / Roundbar</i>	Area <i>Roundbar</i>	<i>Accept with Repair.</i>
8	Void 3 C	<i>Side Shell</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
9	Void 3 S	<i>Side Shell</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
10	Void 4 P	<i>Side Shell dan Centre</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
11	Void 4 C	<i>Side Shell dan Centre</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
12	Void 4 S	<i>Side Shell dan Centre</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
13	Void 5 P	<i>Side Shell / Roundbar</i>	Area <i>Roundbar</i>	<i>Accept with Repair.</i>
14	Void 5 C	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Accept with Repair.</i>
15	Void 5 S	<i>Side Shell</i>	Tidak ditemukan kebocoran	<i>Accept</i>
16	Void 6 P	<i>Side Shell / Corner</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Accept with Repair.</i>
17	Void 6 C	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Accept with Repair.</i>
18	Void 6 S	<i>Side Shell / Corner</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Accept with Repair.</i>

3.2 Analisis cacat las hasil *Air Pressure Test*

Berdasarkan hasil inspeksi visual setelah pelaksanaan *Air Pressure Test*, kebocoran yang ditemukan pada 18 *Void* teridentifikasi berkaitan dengan indikasi cacat las berupa *Overlap*, *Undercut* dan *Porosity*. Pertama, cacat *Overlap* terjadi ketika logam las tidak melebur sempurna pada logam dasar akibat arus terlalu rendah, sehingga terbentuk celah yang menjadi jalur bocor. Kedua, cacat *Undercut* berupa cekungan di tepi jalur las akibat arus terlalu tinggi dan *Travel Speed* terlalu cepat. Ketiga, cacat *Porosity* berupa rongga gas di dalam logam las yang menembus permukaan sehingga membentuk gelembung sabun saat pengujian. Tabel 6 menyajikan jenis cacat las teridentifikasi

Tabel 6. Jenis Cacat Las Teridentifikasi

<i>Void</i>	Bagian kapal	Lokasi kebocoran	Jenis cacat teridentifikasi	Status
<i>Side Shell / Corner</i>				
<i>Void 1 P</i>	<i>Side Shell</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Overlap, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 1 S</i>	<i>Side Shell</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Overlap, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 6 P</i>	<i>Side Shell</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Overlap, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 6 S</i>	<i>Side Shell</i>	Sambungan <i>Corner</i>	<i>Overlap, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Side Shell / Roundbar</i>				
<i>Void 3 P</i>	<i>Side Shell</i>	Area <i>Roundbar</i>	<i>Porosity, Overlap</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 5 P</i>	<i>Side Shell</i>	Area <i>Roundbar</i>	<i>Porosity, Overlap</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Bottom</i>				
<i>Void 1 C</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las panel <i>Bottom</i>	<i>Porosity, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 2 C</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las panel <i>Bottom</i>	<i>Porosity</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 5 C</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las panel <i>Bottom</i>	<i>Porosity, Undercut</i>	<i>Accept with Repair.</i>
<i>Void 6 C</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las panel <i>Bottom</i>	<i>Porosity</i>	<i>Accept with Repair.</i>

Kebocoran pada area *Side Shell* dominan terjadi pada sambungan *Corner* dan *Roundbar* karena posisi pengelasan pada area tersebut relatif sulit, sehingga mempengaruhi kestabilan busur las dan penetrasi logam las. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa hasil pengelasan sangat bergantung pada keterampilan juru las, khususnya pada posisi dan geometri sambungan yang sulit [9]. Sementara itu, kebocoran pada area *Bottom* terjadi pada sambungan pengabungan panel *Bottom A* dan Panel *Bottom B* yang dikerjakan secara manual pada tahap *Erection*. Ketidakkonsistenan parameter pengelasan seperti arus, tegangan, dan *Travel Speed* diduga menjadi penyebab utama terbentuknya cacat las. Hal ini sejalan dengan penelitian [10] yang menunjukkan bahwa berbagai cacat las yang teridentifikasi melalui *Radiographic Test*, seperti *porosity* dan *Incomplete Penetration*, dipengaruhi oleh faktor, metode, material, mesin lingkungan, dan pengukuran selama proses pengelasan. Berikut Gambar 4 yang menunjukkan contoh cacat las berupa *Overlap*, *undercut*, *Porosity* dan hasil *Repair*



(A) Porosity



(B) Undercut



(C) Overlap



(D) Repair

Gambar 4. Cacat las: (A) Porosity, (B) Undercut (C) Overlap (D) Repair.

3.3 Report kebocoran Bottom dan Side Shell (Radiographic Test)

Pengujian *Radiographic Test* dilaksanakan menggunakan isotop Ir-192 dengan aktivitas 50 Ci, teknik *Single Wall Single Viewing* (SWSV), dan mengacu pada standar ISO 5817 (Annex 6). Inspektur yang bertanggung jawab atas sertifikasi *Radiographic Test* (RT) Level II. Pengujian mencakup bagian *Bottom* (Joint No. 27 – 44) dan *Side Shell Port* dan *Starboard* (Joint No. 45–50) pada kapal *Barge*. Hasil pengujian disajikan berdasarkan area pada Tabel 7 & 8 berikut.

Tabel 7. Hasil pengujian *Radiographic Test* (Bottom)

Joint No.	ACC	REJ	Min	Max	IF	IP	CP	RUC	P	Remarks & Comment
27	Acc	-	2,8	3,1	-	-	-	-	-	-
28	Acc	-	2,4	2,6	-	-	-	-	-	-
29	Acc	-	2,5	2,8	-	-	-	-	-	-
30	Acc	-	2,1	2,6	-	-	-	-	-	-
31	-	Repair.	2,4	2,7	-	-	✓	-	-	CP36 mm
32	-	Repair.	2,3	2,5	✓	-	-	-	✓	IF 53 mm - P
33	Acc	-	2,7	2,9	-	-	-	-	-	-
34	Acc	-	2,1	2,4	-	-	-	-	-	-
35	Acc	-	2,5	2,9	-	-	-	-	-	-
36	Acc	-	2,6	2,9	-	-	-	-	-	-
37	Acc	-	2,2	2,4	-	-	-	-	-	-
38	Acc	-	2,2	2,5	-	-	-	-	-	-
39	Acc	-	2,4	2,9	-	-	-	-	-	-
40	Acc	-	2,9	3,1	-	-	-	-	-	-
41	Acc	-	2,3	2,5	-	-	-	-	-	-
42	Acc	-	2,4	2,8	-	-	-	-	-	-
43	-	Repair.	2,2	2,3	-	-	✓	-	-	CP 27mm
44	-	Repair.	2,1	2,2	✓	-	✓	-	-	IF 22 mm-CP

Tabel 8. Hasil pengujian *radiographic Test (Side Shell)*

<i>Joint No.</i>	<i>ACC</i>	<i>REJ</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>IF</i>	<i>IP</i>	<i>CP</i>	<i>RUC</i>	<i>P</i>	<i>Remarks & Comment</i>
45	Acc	-	2,9	3,1	-	-	-	-	-	-
46	Acc	-	2,7	2,9	-	-	-	-	-	-
47	Acc	-	2,5	2,7	-	-	-	-	-	-
48	Acc	-	2,4	2,6	-	-	-	-	-	-
49	Acc	-	2,5	2,8	-	-	-	-	-	-
50	Acc	-	2,3	3,2	-	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 24 *joint* yang diperiksa, sebanyak 20 *joint* dinyatakan *Accept* dan 4 *joint* dinyatakan *Repair* dengan demikian, tingkat penerimaan sambungan las mencapai 83,33% sedangkan 16,67% memerlukan tindakan perbaikan. Seluruh *joint* yang memerlukan perbaikan berada pada area *Bottom*, sedangkan seluruh *joint* pada area *Side Shell* memenuhi kriteria penerimaan berdasarkan standar ISO 5817 Annex 6. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas pengelasan pada sebagian area pengujian telah memenuhi standar.

3.4 Analisis Cacat Las Hasil *Radiographic Test*

Berdasarkan hasil *Radiographic Test* pada 24 *Joint* yang diperiksa, ditemukan sebanyak 4 *joint* mengalami cacat sehingga dinyatakan *Repair*, sedangkan 20 *Joint* lainnya dinyatakan *Accept*. Cacat las yang teridentifikasi terdiri dari *Incomplete Fusion* (IF) dan *Crack.Porosity* (CP). *Incomplete Fusion* terjadi akibat logam las tidak menyatu sempurna dengan logam dasar, sedangkan *Crack/Porosity* merupakan cacat *Internal* berupa rongga gas atau retakan yang tidak dapat dideteksi secara visual maupun melalui *Air Pressure Test*. Tabel 9 menyajikan jenis cacat las yang teridentifikasi.

Tabel 9. Jenis cacat las yang teridentifikasi.

<i>Joint</i>	<i>Bagian Kapal</i>	<i>Lokasi</i>	<i>Jenis Cacat Teridentifikasi</i>	<i>Status</i>
<i>Joint 31</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Crack/Porosity</i> (CP) 36 mm	<i>Repair</i>
<i>Joint 32</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Incomplete Fusion</i> (IF) 53 mm + <i>Porosity</i> (P)	<i>Repair</i>
<i>Joint 43</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Crack/Porosity</i> (CP) 27 mm	<i>Repair</i>
<i>Joint 44</i>	<i>Bottom</i>	Sambungan las <i>Bottom</i>	<i>Incomplete Fusion</i> (IF) 22 mm + <i>Crack/Porosity</i> (CP)	<i>Repair</i>

Berdasarkan standar ISO 5817, seluruh cacat tersebut termasuk kategori yang tidak memenuhi persyaratan kualitas sambungan las, sehingga keempat *joint* yang mengandung cacat dinyatakan *Repair* dan harus dilakukan perbaikan serta pengujian ulang, seluruh *joint* yang memerlukan perbaikan terkonsentrasi pada area *Bottom*, sedangkan seluruh *joint* pada area *Side Shell* (*joint* 45-50) dinyatakan *Accept* tanpa indikasi cacat. Kondisi ini diduga berkaitan dengan proses pengelasan manual pada tahap *Erection* di area *Bottom* lebih rentan terhadap ketidakkonsistenan parameter dibanding area *Side Shell*.

Hasil ini menunjukkan bahwa *Radiographic Test* memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mendeteksi kondisi *Internal* sambungan las dibanding *Air Pressure Test* [8]. Namun, metode ini tidak dapat secara langsung menunjukkan apakah suatu sambungan las mengalami kebocoran atau tidak. Oleh karena itu, kedua metode memiliki fungsi yang berbeda namun saling melengkapi dalam proses pengendalian kualitas pengelasan.

3.5 Perbandingan *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test*

Berdasarkan hasil penelitian, *Air Pressure Test* memiliki karakteristik serta fungsi yang berbeda dalam proses pengendalian kualitas pengelasan pada konstruksi kapal. *Air Pressure Test* digunakan untuk mengevaluasi kedapannya aktual sambungan las dengan memberikan tekanan udara sebesar 0,2 bar pada area yang diuji. Metode ini mampu menunjukkan secara langsung lokasi kebocoran melalui terbentuknya gelembung sabun pada area yang mengalami kebocoran. Sementara itu, *Radiographic Test* digunakan untuk mendeteksi cacat *Internal* sambungan las seperti *Incomplete Fusion* (IF), *Incomplete Penetration* (IP), dan *Crack/Porosity* (CP) yang tidak dapat diamati secara visual maupun melalui *Air Pressure Test*, perbandingan antara kedua metode secara ringkas disajikan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Perbandingan Hasil *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test*

Aspek Perbandingan	<i>Air Pressure Test</i> (APT)	<i>Radiographic Test</i> (RT)
A. Karakteristik Umum		
Prinsip Kerja	Tekanan udara 0,2 bar + deteksi gelembung sabun	Radiasi Sinar <i>Gamma</i> (Ir-192) menghasilkan gambar film
Standar Acuan	BKI Vol. II Sec. 12-H	ISO 5817 Annex 6
Teknik Pengujian	Pemberian tekanan + larutan sabun	Single Wall Single Viewing (SWSV)
Biaya & Kemudahan	Rendah, mudah, cepat di lapangan	Tinggi, butuh personel bersertifikat RT Lv. II
B. Kemampuan Deteksi Cacat Las		
<i>Porosity / Overlap / Undercut</i>	✓ Terdeteksi (cacat permukaan)	✓ Terdeteksi (<i>Joint</i> 32)
<i>Incomplete Fusion</i> (IF)	✗ Tidak terdeteksi	✓ Terdeteksi (<i>Joint</i> 32 & 44)
<i>Incomplete Penetration</i> (IP)	✗ Tidak terdeteksi	✓ Terdeteksi
<i>Crack / Porosity Internal</i> (CP)	✗ Tidak terdeteksi (cacat dalam)	✓ Terdeteksi (<i>Joint</i> 31, 43 & 44)
C. Hasil Pengujian Penelitian		
Total Area Diuji	18 <i>Void</i>	24 <i>Joint</i>
Hasil <i>Accept</i>	8 <i>Void</i> (44,44%)	20 <i>Joint</i>
Hasil <i>Repair</i>	10 <i>Void</i> (55,56%)	4 <i>Joint</i>
Lokasi Cacat Dominan	<i>Side Shell (Corner & Roundbar)</i>	<i>Bottom (Joint</i> 31, 32, 43, 44)
Jenis Cacat Ditemukan	<i>Overlap, Undercut, Porosity</i> (permukaan)	<i>Incomplete Fusion</i> (IF), <i>Crack/Porosity</i> (CP)

Dari sisi pelaksanaan, *Air Pressure Test* relatif lebih sederhana, cepat, dan ekonomis dibandingkan *Radiographic Test*. Namun kemampuan deteksinya terbatas pada kebocoran yang telah mencapai permukaan. Sebaliknya, *Radiographic Test* memerlukan peralatan khusus, sumber radiasi, serta personel bersertifikasi, tetapi mampu memberikan informasi mengenai kondisi *Internal* sambungan las secara lebih detail.

Air Pressure Test dan *Radiographic Test* dalam penelitian ini memiliki keterbatasan metodologi. *Air Pressure Test* dilakukan secara langsung pada kapal *Barge* di Galangan X sebagai data primer dengan 18 *Void* pengujian, sedangkan data *Radiographic Test* diperoleh dari laporan NDT pada konstruksi kapal sejenis sebagai data sekunder dengan 24 *joint* pengujian. Oleh karena itu, kedua metode tidak diterapkan secara bersamaan pada objek uji yang identik. Perbandingan yang dilakukan bersifat fungsional dan komparatif untuk menganalisis karakteristik serta kemampuan deteksi masing-masing metode, bukan merupakan perbandingan langsung pada spesimen yang sama maupun untuk menyimpulkan bahwa salah satu metode lebih unggul dibandingkan metode lainnya.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test* bukan merupakan metode yang saling menggantikan, melainkan metode yang saling melengkapi dalam menjamin kualitas dan integritas sambungan las pada konstruksi kapal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian *Air Pressure Test* pada 18 Void di area *Side Shell* dan *Bottom* kapal *Barge* menunjukkan 10 Void (55,56%) dinyatakan *Accept with Repair* akibat cacat las berupa *Overlap*, *Undercut*, dan *Porosity*, sementara 8 Void (44,44%) dinyatakan *Accept*. *Radiographic Test* pada 24 joint menunjukkan 4 joint dinyatakan *Repair* dengan jenis cacat *Incomplete Fusion (IF)* dan *Crack/Porosity (CP)* yang seluruhnya berada pada area *Bottom*. Kedua metode ini terbukti memiliki fungsi yang saling melengkapi. *Air Pressure Test* efektif dalam mendeteksi kebocoran, sedangkan *Radiographic Test* mampu mengidentifikasi cacat *Internal* yang tidak dapat dilihat secara visual maupun melalui *Air Pressure Test*.

Galangan kapal disarankan menerapkan *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test* sesuai dengan fungsi masing-masing dalam proses *Quality Control*. *Radiographic Test* dapat digunakan untuk mengevaluasi integritas *Internal* sambungan las, sedangkan *Air Pressure Test* digunakan untuk memverifikasi kedekatan aktual sambungan las. Selain itu, pengawasan terhadap parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, dan *Travel Speed*, serta pelaksanaan pengelasan pada area yang memiliki tingkat kesulitan lebih tinggi perlu diperhatikan untuk meminimalkan potensi terjadinya cacat las.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada penggunaan data sekunder untuk *Radiographic Test* yang berasal dari laporan pengujian konstruksi kapal sejenis, sedangkan *Air Pressure Test* dilakukan secara langsung pada kapal *Barge* 54 M sebagai data primer, dengan demikian kedua metode tidak diterapkan secara bersamaan pada objek uji yang sama sehingga hasil yang diperoleh bersifat komparatif terhadap fungsi dan kemampuan masing-masing metode. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menerapkan *Air Pressure Test* dan *Radiographic Test* secara terpadu pada objek yang sama sehingga hasil evaluasi kualitas sambungan las dapat divalidasi dan dibandingkan secara lebih komprehensif.

5. Daftar Pustaka

- [1] Muh.Syaifullah.A Jalil and Taufiqur Rachaman, "Evaluasi Pengujian Hasil Welding Pelat Dengan Metode Chalk Test Dan Air Pressure Test," 2023.
- [2] P. A. Riyanto, P. Manik, and W. Amiruddin, "Analisa Kecedapan Sambungan Papan Laminasi Komposit Berpenguat Serat Bambu Apus Dengan Matrik Resin Epoxy," 2022.
- [3] D. S. Syarif, "STUDI POTENSI KEGAGALAN SAMBUNGAN LAS PADA TANGKI KAPAL HASIL DARI METODE AIR PRESSURE TEST," 2024.
- [4] A. Herceg, L. Maglić, B. Grizelj, and V. Marušić, "Comparison of Ultrasonic Phased Array and Film Radiography in Detection of Artificially Embedded Defects in Welded Plates," *Materials*, vol. 16, no. 9, p. 3579, May 2023.
- [5] K. A. Maqbulah and I. Mulyono, "Analisa Hasil Pengelasan pada Lambung Kapal dengan Metode Penetrant Test," no. 1, 2024.
- [6] "BKI_2022_Rules_for_Hull_Structures."
- [7] "IMO_1974_SOLAS_International_Convention_as_amended."
- [8] R. D. Putra and Wing Hendropresetyo Akbar Putra, "Analisis Kemampuan Pendeteksian Ultrasonic Testing Dan Radiographic Testing Terhadap Cacat Las Incomplete Fusion Pada Pelat Tangki Baja ASTM A36 yang Dilapisi Overlay Cladding Stainless Steel Di Kapal Chemical Tanker," 2020.
- [9] S. Marsudi, "Analisa Cacat Pengelasan Dengan Menggunakan Teknik Pengelasan Down Hand Pada Pelat Lambung (Hull) Kapal," 2021.
- [10] Nadila, "Analisis Mutu Hasil Radiographic Test Pengelasan Lambung Kapal Tunda 2 X 2200 HP TYPE ASD," 2023.