

Analisis Hasil Uji Kecedapan Skeg Pada Kapal Tongkang 330 FT Dengan Metode Air Pressure Test

Ayatullah Fiqri Maulana ^{*1}, Nur Fitria Pujo Leksonowati, S.ST., M.Sc.1^{*} dan Muhammad Irsyad Saihilmi, S.T., B.Eng., M.T., M.Sc. 2^{*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

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

¹E-mail: ayatullah.4412211035@students.polibatam.ac.id

Abstrak

Skeg merupakan komponen kritis pada kapal tongkang yang berfungsi menjaga kestabilan arah, namun cacat pengelasan selama konstruksi berpotensi menyebabkan kebocoran yang mengancam keselamatan operasional. Selama penelitian, ditemukan bahwa permasalahan serupa juga terjadi pada sedikitnya lima unit kapal tongkang lain di galangan yang sama, sehingga kajian kekedapan struktur skeg menjadi penting dilakukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis hasil uji kekedapan pada ruang skeg kapal tongkang 330 FT menggunakan metode *Air Pressure Test*, mengidentifikasi faktor penyebab kebocoran, serta mengevaluasi efektivitas *repair* yang dilakukan. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif eksperimen, dengan teknik pengumpulan data melalui observasi langsung dan dokumentasi pada tiga tahap pengujian menggunakan tekanan udara 0,2 bar sesuai standar BKI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahap awal ditemukan 70 titik kebocoran, terdiri dari 40 titik pada sisi *portside* dan 30 titik pada *starboard*, yang kemudian berkurang menjadi 22 titik setelah *repair* pertama dengan efektivitas 68,6%, dan mencapai efektivitas 100% setelah *repair* kedua. Analisis diagram Pareto menunjukkan bahwa 76,1% dari total titik kebocoran bersumber dari pengujian tahap pertama, mengindikasikan akar permasalahan terletak pada kualitas persiapan dan pelaksanaan pengelasan awal. Faktor penyebab kebocoran diidentifikasi melalui pendekatan fishbone ke dalam empat kategori, yaitu manusia, metode, material, dan lingkungan, dengan cacat las berupa porosity dan undercut sebagai temuan dominan. Kesimpulan penelitian ini adalah struktur skeg kapal tongkang 330 FT telah memenuhi kriteria kekedapan standar setelah pengujian ulang, sehingga dapat menjadi acuan bagi galangan kapal dalam meningkatkan pengendalian kualitas pengelasan sejak tahap persiapan guna menekan risiko kebocoran dan keterlambatan *delivery* kapal.

Kata kunci: Kecedapan, Skeg, Kapal Tongkang, Air Pressure Test, Efektivitas Repair

Abstract

The skeg is a critical component of a barge that ensures directional stability; however, welding defects during construction can cause leaks that compromise operational safety. During the study, similar problems were also found in at least five other barge units at the same shipyard, making an examination of skeg watertightness important. This study analyzes the results of watertightness tests on the skeg compartment of a 330-foot barge using the Air Pressure Test method, identifies the causes of leaks, and evaluates the effectiveness of the repair process performed. A quantitative experimental method was used, with data collected through direct observation and documentation across three testing stages using an air pressure of 0.2 bar per BKI standards. Results show that 70 leak points were initially detected, consisting of 40 points on the portside and 30 on the starboard side, decreasing to 22 points after the first repair cycle with an effectiveness of 68.6%, and reaching 100% effectiveness after the second cycle. Pareto analysis revealed that 76.1% of total leak points originated from the first-stage testing, indicating the root cause lies in the quality of initial welding preparation and execution. Causes of leakage were identified using a fishbone approach into four categories, namely man, method, material, and environment, with porosity and undercut as the dominant weld defects found. The study concludes that the skeg structure of the 330-foot barge meets standard watertightness criteria after re-testing, and the findings can serve as a reference for shipyards to strengthen welding quality control from the preparation stage, reducing leakage risks and delivery delays.

Keywords: Watertightness, Skeg, Barge, Air Pressure Test, Repair Effectiveness

1 Pendahuluan

Penelitian ini didasarkan pada peran vital kapal tongkang (*barge*) dalam rantai logistik maritim Indonesia, khususnya dalam pengangkutan komoditas curah. Salah satu komponen struktur yang memiliki fungsi kritis adalah skeg. Skeg merupakan struktur yang terletak pada bagian belakang bawah *transom* yang berfungsi untuk menjaga kestabilan arah (*directional stability*), sehingga kapal tetap stabil dan tidak mengalami gerakan *yawing* yang berlebihan saat ditarik oleh *tugboat*.

Dalam proses pembangunan kapal baru, kualitas sambungan pengelasan menjadi faktor penting karena berhubungan langsung dengan kekuatan dan kedapatan struktur kapal. Sambungan las yang tidak sempurna dapat menimbulkan cacat seperti *porosity* dan *undercut* yang berpotensi menyebabkan kebocoran pada ruang tertutup kapal. Kebocoran tersebut dapat mengurangi kualitas konstruksi, mengganggu keselamatan operasional, bahkan menyebabkan kerusakan struktural apabila tidak terdeteksi sejak awal. [1]

Untuk memastikan struktur kapal benar-benar kedap, galangan kapal umumnya menggunakan metode pengujian *non-destructive test* (NDT), salah satunya *air pressure test*. Metode ini dilakukan dengan memberikan tekanan udara ke dalam ruang yang diuji kemudian menyemprotkan larutan sabun pada area pengelasan. Munculnya gelembung sabun menunjukkan adanya titik kebocoran pada sambungan las. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa *air pressure test* mampu mendeteksi kebocoran kecil dengan waktu pengujian yang relatif lebih cepat dibandingkan beberapa metode lain seperti *chalk test* dan *vacuum test*. [2]

Penelitian mengenai pengujian kedapatan pada kapal sebelumnya lebih banyak dilakukan pada tangki kapal, *ballast tank*, *fresh water tank*, dan area lambung kapal. Beberapa penelitian membahas penyebab kebocoran akibat korosi, kualitas pengelasan, maupun perawatan yang kurang optimal. [3]

Di sisi lain, penelitian terkait skeg kapal lebih banyak berfokus pada aspek hidrodinamika, pengaruh bentuk skeg terhadap aliran fluida, stabilitas arah kapal, dan hambatan kapal menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). [4] Hal ini menunjukkan bahwa kajian mengenai kualitas fabrikasi, tingkat kedapatan sambungan las, jumlah titik kebocoran setelah fabrikasi, serta validasi hasil repair pada struktur skeg masih belum banyak dianalisis.

Selama periode penelitian berlangsung di PT. Mandiri Berjaya Shipbuilding, ditemukan bahwa permasalahan kebocoran pada saat pengujian kedapatan tidak hanya terjadi pada satu unit kapal saja, melainkan turut dijumpai pada proses pembangunan beberapa kapal tongkang lainnya yang sedang berjalan di galangan yang sama. Tercatat sedikitnya lima unit kapal tongkang mengalami kondisi serupa, yaitu ditemukannya sejumlah titik kebocoran pada saat dilakukan *air pressure test*, sehingga kapal-kapal tersebut dinyatakan *reject* dan harus melalui proses repair ulang sebelum dapat dinyatakan lulus (*accepted*) oleh Quality Control. Kondisi ini turut berdampak pada mundurnya jadwal penyelesaian pekerjaan (*delivery*) kapal kepada pemilik, karena waktu tambahan diperlukan untuk repair dan pengujian ulang hingga struktur benar-benar dinyatakan kedap. Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan kebocoran pada struktur kedap kapal tongkang bukan merupakan kasus tunggal, melainkan permasalahan berulang yang perlu dikaji lebih lanjut penyebab dan penanganannya. Oleh karena itu, diperlukan pengujian kedapatan untuk memastikan struktur skeg sebelum kapal dioperasikan. Salah satu metode yang digunakan adalah metode udara bertekanan (*Air Pressure Test*). Berdasarkan pengamatan di lapangan, ditemukan bahwa masih terdapat kebocoran pada ruang skeg saat dilakukan *air pressure test* pada proses pembangunan kapal tongkang 330 ft. Kebocoran yang tidak terdeteksi dan tidak diperbaiki sebelum kapal diluncurkan dapat mengakibatkan masuknya air laut ke dalam kompartemen skeg yang menyebabkan korosi internal, biaya repair yang lebih tinggi apabila perbaikan dilakukan setelah kapal beroperasi, serta keterlambatan *delivery* kapal kepada pemilik. Masuknya air laut ke dalam kompartemen *skeg* yang menyebabkan korosi internal

1.1 Rumusan Masalah

rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil uji kedapatan pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft menggunakan metode Air Pressure Test, faktor-faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft, serta seberapa efektif *repair* yang dilakukan berdasarkan persentase pengurangan titik kebocoran pada ruang skeg.

1.2 Tujuan Penelitian

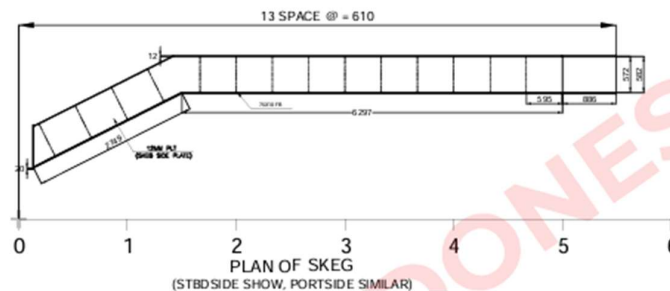
Sesuai dengan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah menganalisis hasil uji kekedapan pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft menggunakan metode Air Pressure Test, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kebocoran pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft, dan mengevaluasi efektivitas repair berdasarkan persentase pengurangan titik kebocoran pada ruang skeg.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tetap terarah dan fokus, ditetapkan batasan masalah sebagai berikut. Objek penelitian adalah ruang skeg kapal tongkang 330 ft yang sedang dalam proses pembangunan baru di PT. Mandiri Berjaya Shipbuilding, Batam. Metode pengujian kekedapan yang digunakan hanya metode *Air Pressure Test* sesuai standar BKI, dengan tekanan pengujian mengacu pada *standart BKI Vol. II Section 10 sebesar 0,15–0,2 bar*. Penelitian ini tidak membahas analisis kekuatan struktur, perhitungan stabilitas, maupun biaya repair. Data yang digunakan merupakan data hasil observasi langsung selama periode penelitian berlangsung.

2 Metodologi Penelitian

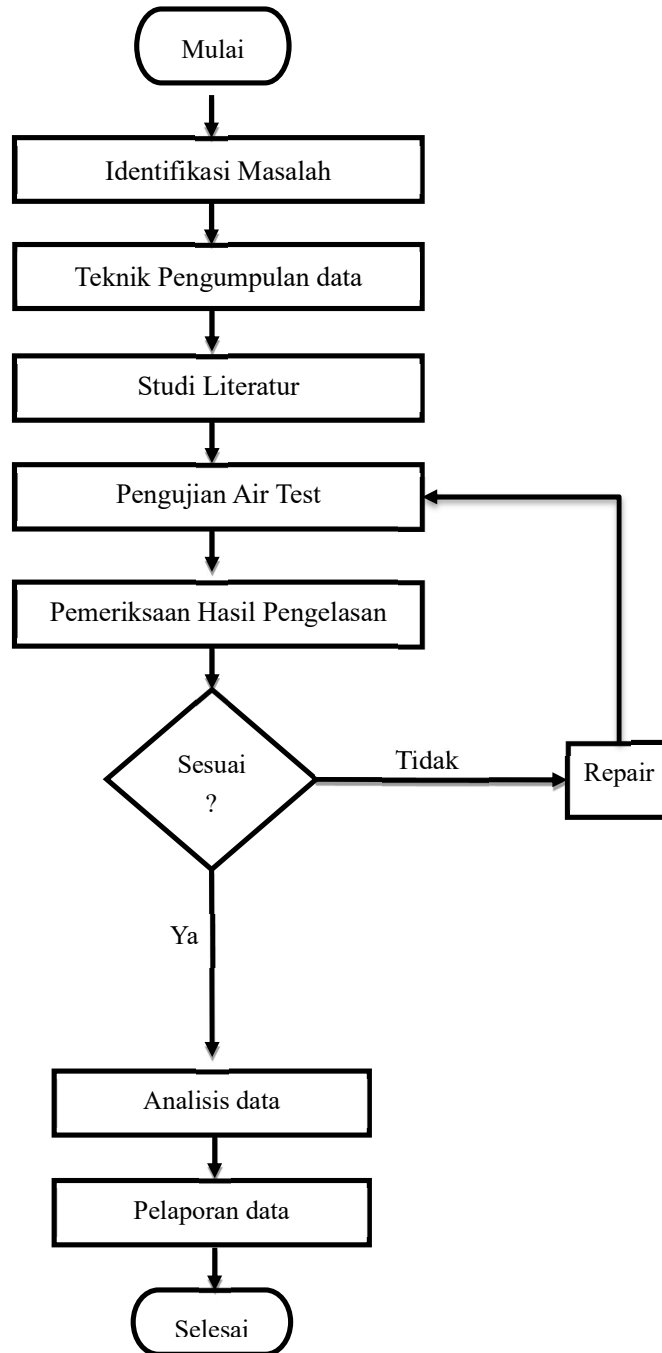
Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif yaitu dengan melakukan eksperimen langsung di lapangan. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi apakah kekedapan skeg memenuhi standar yang ditetapkan oleh klasifikasi kapal. Proses ini pula menggunakan bantuan berupa cairan sabun berbusa untuk mendeteksi kebocoran yang timbul dikarenakan adanya udara yang keluar dari tangki dengan timbulnya gelembung busa sabun. Kemudian bila ada sambungan las yang tiba-tiba muncul gelembung busa maka bagian tersebut harus ditandai sebagai isyarat bahwa tempat tersebut harus diperbaiki. [5] Dasar pengujian dengan tekanan yaitu sebesar 0,2 bar berdasarkan ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia pada *Rules for the Classification and Construction Part 5: Seagoing Ships, Volume II: Rules for Hull*. Jakarta: BKI. [6]



Gambar 1 Drawing Skeg PT Mandiri Berjaya Shipbuilding (Sumber: Dokumen PT Mandiri Berjaya Shipbuilding, 2026)



Gambar 2 Aktual Skeg PT Mandiri Berjaya Shipbuilding (Sumber: Dokumentasi pemulis, 2026



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

2.1 Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dua teknik, yaitu:

2.1.1 Observasi Langsung

Observasi langsung dilakukan dengan cara peneliti hadir dan mengamati secara langsung proses Air Pressure Test pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft, mulai dari tahap persiapan pengujian hingga pemeriksaan hasil repair, pada dua sisi skeg yaitu portside dan starboard. Aspek yang diamati dan dicatat meliputi tekanan udara pengujian (dipantau melalui selang air hingga mencapai 0,2 bar sesuai standar BKI), kemunculan gelembung sabun pada sambungan las sebagai indikasi kebocoran, jumlah dan lokasi titik kebocoran yang ditemukan, kondisi visual cacat las (porosity maupun undercut), durasi pengujian pada setiap tahap (60 menit pada tahap I dan III, 30 menit pada tahap II), status akhir pengujian (lulus/tidak lulus), serta pelaksanaan proses repair menggunakan pengelasan SMAW pada titik-titik yang telah ditandai bocor.

2.1.2 Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan bersamaan dengan observasi langsung, mencakup pencatatan data pengujian ke dalam lembar data (tanggal, sisi yang diuji, tekanan, durasi, jumlah titik kebocoran, dan status pengujian), serta pengambilan foto pada setiap tahap penting, yaitu kondisi titik kebocoran sebelum ditandai, penandaan menggunakan kapur oleh Quality Control, proses repair menggunakan pengelasan SMAW, dan kondisi area setelah dilakukan re-test. Setiap sesi pengujian didokumentasikan secara terpisah sehingga dapat dilakukan perbandingan yang jelas antara pengujian pertama (sebelum repair), pengujian kedua (setelah repair pertama), dan pengujian ketiga (setelah repair kedua).

2.2 Studi Literatur

Literatur yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

- **Konstruksi skeg kapal**
Penelitian terkait desain, fungsi, dan pengaruh bentuk skeg terhadap aliran/hambatan kapal [4]
- **Metode pengujian kekedapan konstruksi kapal**
Pengujian Kebocoran pada Tangki Kapal Tugboat 2400 HP [1]; Analisa Teknis Pengujian Kekedapan Pengelasan [2]; Air Pressure Test vs Penetrant Test [7]; Chalk Test vs Air Pressure Test [8]; navale-engineering — Airtest Kapal [5]
- **Analisis Faktor Penyebab Kebocoran**
Upaya Penanggulangan Kebocoran Tangki Muatan dengan Fishbone Analysis [3]; 18 Macam Cacat Las [9]
- **Standard Dan Prosedur Pengujian**
BKI — *Rules for Hull Vol. II* [6]

2.3 Prosedur Pengujian Air Pressure Test

Metode Air Pressure test memerlukan alat dan bahan sebagai berikut [7] :

1. Compressor
2. Selang kompresor
3. Pipa input dan output
4. Selang spiral
5. Meteran
6. Air sabun
7. Botol semprot
8. Kapur

Prosedur pengujian metode air pressure test :

1. Dilakukan penutupan pada semua lubang di area skeg
2. Pembuatan lubang untuk pengisian udara
3. Hubungkan pipa dengan kompresor udara
4. Perhatikan tekanan di dalam *skeg* hingga 0.2 bar, karena pada pengujian kali ini menggunakan media bantu berupa selang air, maka harus menunggu hingga selang air tersebut berada di ketinggian 2 meter. Untuk memastikannya menggunakan rumus berikut [6]:

$$P = 0,0981 \times H \times SG$$

$$P = 0,0981 \times 2 \times 1.00$$

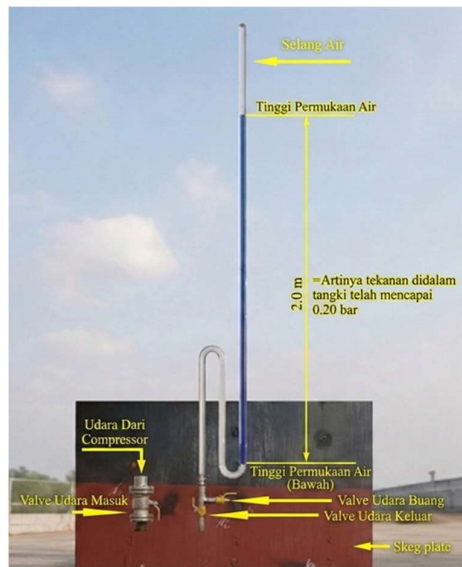
$$= 0,1962 \text{ bar}$$

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

Ket : P = Pressure

H = Ketinggian

SG = Specific Gravity dari air



Gambar 4. Skema Air Pressure Test Menggunakan Selang Air Sebagai Alat Ukur

(Sumber: Diadaptasi dari Alfajri et al., 2024)

Pemilihan tekanan pengujian sebesar 0,2 bar didasarkan pada ketentuan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dalam *Rules for the Classification and Construction Part 5: Seagoing Ships, Volume II: Rules for Hull* [6], yang mensyaratkan tekanan uji kedap air pada struktur kedap air (watertight structure) berada pada rentang 0,15–0,2 bar. Nilai 0,2 bar dipilih sebagai batas atas dari rentang tersebut dengan pertimbangan agar tekanan yang diberikan cukup untuk memastikan kondisi ekstrem dapat mendeteksi celah kebocoran sekecil apa pun pada sambungan las, sekaligus tetap berada dalam batas aman yang tidak berisiko merusak struktur pelat maupun sambungan yang sedang diuji. Tekanan ini juga sejalan dengan praktik umum di galangan kapal dalam pengujian kedap air pada kompartemen tertutup seperti ruang skeg, tangki, dan ballast, sebagaimana ditunjukkan pada perhitungan menggunakan media bantu selang air setinggi 2 meter.

5. Pertahankan tekanan 0,2 bar selama minimum 1 menit hingga kondisi stabil.
6. Semprotkan larutan air sabun ke seluruh area las-lasan pada ruang *skeg*. Apabila terdapat kebocoran, gelembung busa sabun akan muncul pada titik bocor tersebut.



Gambar 5. Penyemprotan air sabun

Gambar 5 diatas sedang melakukan penyemprotan dengan air sabun, dikarenakan menggunakan air sabun sehingga titik titik yang mengalami kebocoran akan menimbulkan gelembung busa karena adanya udara dari dalam. Kemudian ketika ditemukannya sambungan las terdapat gelembung busa, maka pihak *Quality Control* menandai menggunakan kapur kuning memberikan isyarat titik tersebut harus diadakan perbaikan [8]

7. Tandai titik bocor menggunakan kapur. Catat jumlah, lokasi, dan kondisi setiap titik kebocoran dalam lembar data.
8. Lakukan repair (pengelasan ulang SMAW) pada setiap titik kebocoran yang ditemukan. Setelah repair selesai, lakukan pengujian ulang (*re-test*) dari awal hingga area dinyatakan kedap.

Durasi pengujian pada masing-masing tahap ditetapkan berbeda sesuai dengan tujuan dan kondisi struktur yang diuji pada tahap tersebut. Pada tahap I dan tahap III, pengujian dilakukan selama 60 menit karena pada kedua tahap tersebut struktur skeg diuji secara menyeluruh untuk pertama kalinya (tahap I) dan sebagai pengujian akhir untuk memastikan tidak ada lagi celah kebocoran yang tersisa (tahap III), sehingga diperlukan waktu pengamatan yang lebih panjang agar seluruh area sambungan las, termasuk celah-celah kecil yang membutuhkan waktu lebih lama untuk menampakkan gelembung udara, dapat teridentifikasi secara menyeluruh. Sementara itu, pada tahap II, durasi pengujian dipersingkat menjadi 30 menit karena pengujian pada tahap ini bersifat *re-test* terfokus, yaitu untuk memverifikasi efektivitas repair yang telah dilakukan pada titik-titik kebocoran hasil temuan tahap I. Area yang diperiksa relatif lebih spesifik dan telah diketahui riwayat titik bocornya, sehingga waktu pengamatan 30 menit dinilai cukup untuk mengonfirmasi apakah gelembung udara masih muncul pada titik-titik yang telah direpair maupun pada area di sekitarnya. meskipun durasi pengujian tahap II lebih singkat, tahap ini tetap berhasil mengidentifikasi 22 titik kebocoran baru, yang menunjukkan bahwa durasi tersebut sudah memadai untuk mendeteksi kebocoran secara jelas pada tahap *re-test*.

2.4 Pemeriksaan Hasil Pengelasan

Pemeriksaan hasil pengelasan dilakukan dengan inspeksi visual untuk melihat cacat cacat di pengelasan yang akan nantinya di cek dengan air pressure test, jika hasil sesuai/tidak dalam hal ini tidak ada cacat maka tidak perlu di repair, jika ada cacat maka dilakukan repair lagi. Setelah repair baru dilakukan pengujian air pressure test lagi.

2.5 Tahapan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis melalui tiga tahapan, sesuai dengan ketiga tujuan penelitian:

2.5.1 Analisis Hasil Uji Kecedapan

Jumlah titik kebocoran dari setiap sesi pengujian dicatat dan disajikan dalam tabel. Data tersebut kemudian dianalisis untuk melihat penyebaran titik kebocoran pada area las-lasan ruang sgeg, termasuk jumlah, lokasi, dan kondisi setiap titik kebocoran.

2.5.2 Identifikasi Faktor Penyebab Kebocora

Faktor penyebab kebocoran diidentifikasi berdasarkan hasil observasi lapangan dan dikategorikan menggunakan kerangka *fishbone analysis* ke dalam empat kategori: Man, Method, Material, dan Environment [3]

2.5.3 Efektivitas Repair

Efektivitas repair dihitung dengan membandingkan jumlah titik kebocoran sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan, menggunakan rumus persentase pengurangan titik kebocoran sebagai berikut: Setelah dilakukan proses repair, efektivitas perbaikan dianalisis berdasarkan persentase penurunan jumlah titik kebocoran sebelum dan setelah dilakukan perbaikan. Perhitungan persentase penurunan dilakukan dengan membandingkan selisih nilai awal dan nilai akhir terhadap nilai awal [10] dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas Repair (\%)} = \frac{(Ta - T)}{Ta} \times 100\% \quad [10]$$

Keterangan:

- Ta = jumlah titik kebocoran sebelum repair (hasil pengujian pertama)
- Tb = jumlah titik kebocoran setelah repair (hasil pengujian ulang / *re-test*)

dengan Ta adalah jumlah titik kebocoran sebelum repair dan Tb adalah jumlah titik kebocoran setelah repair. Semakin besar persentase yang diperoleh, semakin efektif proses repair yang dilakukan. Hasil dinyatakan dalam tabel dan grafik perbandingan sebelum dan sesudah repair pada setiap sesi pengujian.

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Kecedapan

Pengujian kekedapan pada ruang sgeg kapal tongkang 330 ft dilakukan dengan metode Air Pressure Test, yaitu pengujian kekedapan sambungan las menggunakan udara bertekanan yang dideteksi dengan larutan air sabun pada permukaan sambungan. Pengujian pada penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pengujian awal (sebelum repair), pengujian ke 2 (setelah repair 1), dan pengujian 3 (setelah repair 2)

3.1.1 Pengukuran Tekanan Menggunakan Selang dan Valve Pengujian

Selama pelaksanaan Air Pressure Test, pemantauan tekanan udara di dalam ruang sgeg dilakukan menggunakan prinsip manometer kolom air yang terhubung melalui rangkaian selang dan valve pada bagian sgeg, Udara bertekanan dari compressor dialirkan masuk ke dalam ruang sgeg melalui valve udara masuk. Tekanan udara di dalam ruang tersebut kemudian mendorong permukaan air pada selang air yang terhubung ke ruang sgeg, sehingga semakin besar tekanan di dalam ruang sgeg, semakin tinggi permukaan air yang terdorong naik pada selang. Ketinggian permukaan air sebesar 2,0 meter pada selang setara dengan tekanan sebesar 0,20 bar di dalam ruang sgeg, sesuai dengan tekanan uji standar yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).



Gambar 6. Selang dan valve

Selama proses penahanan tekanan pada 0,20 bar melalui rangkaian selang dan valve tersebut, turut dilakukan pemeriksaan kebocoran pada seluruh sambungan las menggunakan larutan air sabun.

3.1.2 Pengujian Tahap 1

Pengujian tahap pertama dilakukan pada dua area skeg, yaitu sisi portside dan starboard, masing-masing dengan panjang area pengujian 9 meter dan durasi pengujian 60 menit. Selama proses pengujian, dilakukan pengamatan visual serta pemantauan tekanan secara berkala untuk memastikan tidak terjadi penurunan tekanan yang signifikan. Data waktu pengujian tahap I (Tabel 3.1).

Tabel 3.1. Waktu pengujian tahap 1

No	Metode Pengujian	Area Pengujian	Panjang Area Pengujian (M)	Waktu Pengujian (menit)
1	Air Pressure Test	Skeg (Portside)	9 Meter	60 menit
2	Air Pressure Test	Skeg (Starboard)	9 Meter	60 menit

Tabel 3.2. Hasil Pengujian tahap 1

No	Bagian Skeg	Status
1	Skeg (Portside)	Terdapat 40 titik kebocoran
2	Skeg (Starboard)	Terdapat 30 titik kebocoran



Gambar 7. Titik kebocoran

Titik kebocoran ditandai dengan munculnya gelembung udara pada permukaan sambungan las setelah disemprot larutan air sabun, sebagai akibat dari udara bertekanan yang keluar melalui celah pada sambungan yang tidak kedap. Penandaan berwarna kuning pada Gambar 6 merupakan tanda BCR (bocor) yang diberikan oleh Quality Control (QC) galangan sebagai acuan lokasi yang harus diperbaiki. Secara total, ditemukan 70 titik kebocoran pada kedua sisi skeep, dengan sebaran lebih banyak pada sisi portside (40 titik) dibandingkan starboard (30 titik). Titik-titik kebocoran yang ditemui pada pengujian tahap I selanjutnya diperbaiki menggunakan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) pada seluruh area yang ditandai bocor.

Tingginya jumlah titik kebocoran yang ditemukan pada pengujian tahap I menunjukkan bahwa proses pengelasan awal pada ruang skeep belum sepenuhnya memenuhi standar kedapn yang disyaratkan sebelum dilakukan Air Pressure Test. di mana kebocoran yang tidak terdeteksi sejak tahap konstruksi berpotensi menimbulkan biaya repair yang lebih besar apabila baru ditemukan setelah kapal beroperasi. Dengan diterapkannya Air Pressure Test pada tahap awal ini, seluruh 70 titik kebocoran dapat diidentifikasi dan ditandai untuk diperbaiki sebelum kapal dilanjutkan ke tahap konstruksi berikutnya, sehingga risiko kegagalan struktur akibat kebocoran yang lolos deteksi dapat diminimalkan sejak dini.



Gambar 8 Proses Repair Kebocoran Menggunakan SMAW

3.1.3 Pengujian Tahap 2 (Setelah repair pertama)

Setelah proses repair selesai, dilakukan pengujian ulang dengan metode dan area yang sama, namun dengan durasi pengujian yang lebih singkat menjadi 30 menit untuk setiap sisi pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Waktu pengujian tahap 2

No	Metode Pengujian	Area Pengujian	Panjang Area Pengujian (M)	Waktu Pengujian (menit)
1	Air Pressure Test	Skeg (Portside)	9 Meter	30 menit
2	Air Pressure Test	Skeg (Starboard)	9 Meter	30 menit

Tabel 3.4. Hasil Pengujian tahap 2

No	Bagian Skeg	Status
1	Skeg (Portside)	Terdapat 9 titik kebocoran
2	Skeg (Starboard)	Terdapat 13 titik kebocoran

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, 22 titik kebocoran yang ditemukan pada tahap II ini berasal dari dua sumber yang berbeda. Sebagian merupakan titik baru yang muncul sebagai efek dari repair sebelumnya tekanan udara yang sebelumnya keluar melalui titik-titik yang telah ditutup pada repair pertama berpindah dan mencari celah-celah kecil lain di sekitar sambungan yang sebelumnya belum terdeteksi bocor pada tahap I. Sebagian lainnya merupakan titik lama yang telah direpair pada tahap I namun kembali mengalami kebocoran ,kemungkinan akibat penetrasi las yang belum sempurna pada saat repair pertama dilakukan. sehingga pengujian ulang tetap diperlukan untuk memverifikasi hasil repair secara menyeluruh. Seluruh 22 titik ini kemudian diperbaiki kembali menggunakan metode dan prosedur repair yang sama.

3.1.4 Pengujian Tahap 3 (Setelah Repair Kedua)

Setelah repair kedua selesai dilakukan pada seluruh titik yang teridentifikasi pada tahap II, dilakukan pengujian ulang yang ketiga dengan durasi pengujian kembali menjadi 60 menit untuk setiap sisi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.5, guna memastikan hasil repair benar-benar tuntas dan tidak menyisakan celah kebocoran sekecil apa pun.

Tabel 3.5 Waktu Pengujian Tahap III (Setelah Repair Kedua)

No	Metode Pengujian	Area Pengujian	Panjang Area Pengujian (M)	Waktu Pengujian (menit)
1	Air Pressure Test	Skeg (Portside)	9 Meter	60 menit
2	Air Pressure Test	Skeg (Starboard)	9 Meter	60 menit

Tabel 3.6. Hasil Pengujian tahap 2

No	Bagian Skeg	Status
1	Skeg (Portside)	Tidak ada kebocoran (Acc)
2	Skeg (Starboard)	Tidak ada kebocoran (Acc)



Gambar 9 Kondisi Setelah Repair Tidak Ada Kebocoran

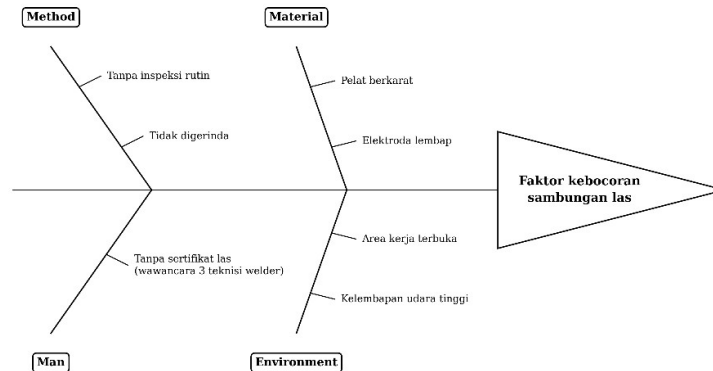
Hasil pengujian tahap III menunjukkan tidak ditemukan lagi indikasi gelembung udara pada seluruh area yang sebelumnya bocor, baik pada sisi portside maupun starboard. Dengan demikian, struktur skeg kapal tongkang 330 ft dinyatakan telah memenuhi kriteria kedap sesuai standar tekanan uji yang berlaku dan dinyatakan diterima (accepted/ACC) oleh Quality Control galangan.

3.2 Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kebocoran Pada Ruang Skeg

Kebocoran pada ruang skeg umumnya bersumber dari ketidaksempurnaan hasil pengelasan pada sambungan pelat konstruksi. Skeg merupakan bagian struktur yang terletak di bawah lambung kapal dan berhubungan langsung dengan kekuatan konstruksi, sehingga cacat las pada bagian ini berisiko tinggi menyebabkan kebocoran yang dapat menurunkan keandalan struktur kapal secara keseluruhan.

3.2.1 Kategorisasi Faktor Penyebab Kebocoran

Faktor penyebab kebocoran diidentifikasi menggunakan kerangka fishbone analysis, dengan setiap kategori didasarkan pada temuan observasi langsung maupun wawancara sebagai data pendukung. Pada kategori Man, hasil wawancara dengan tiga teknisi welder yang terlibat dalam pengelasan skeg menunjukkan bahwa 1 memiliki sertifikat dan 2 tidak memiliki sertifikat juru las (welder certificate), yang mengindikasikan lemahnya kontrol kompetensi tenaga kerja sebelum penempatan pada pekerjaan pengelasan struktur kritis. Pada kategori Method, ditemukan kondisi permukaan sambungan yang tidak dibersihkan dari kotoran dan karat sebelum pengelasan, serta permukaan kampuh las yang tidak digerinda sehingga meningkatkan risiko undercut. Pada kategori Material, ditemukan elektroda yang disimpan di ruang terbuka dalam kondisi lembap, yang berpotensi melepaskan hidrogen dan memicu porositas. Pada kategori Environment, proses pengelasan dilakukan di area terbuka yang terpapar kelembapan udara galangan secara langsung.



Gambar 10 Diagram Fishbone Penyebab Kebocoran pada Ruang Skeg

Berdasarkan diagram tersebut, dapat disimpulkan bahwa kebocoran pada ruang skeg tidak bersumber dari satu faktor tunggal, melainkan kombinasi dari kelemahan pada aspek metode kerja, kondisi material, kompetensi tenaga kerja, dan lingkungan kerja yang saling memengaruhi selama proses pengelasan berlangsung.

3.2.2 Temuan di lapangan : Kondisi Sebelum Pengelasan

Hasil pengamatan langsung di lapangan pada saat proses pengerjaan skeg berlangsung menunjukkan bahwa tingginya jumlah titik kebocoran pada pengujian tahap I tidak hanya sebagai cacat las semata, melainkan bersumber dari tahap persiapan sebelum pengelasan (welding preparation) yang tidak dilaksanakan sesuai prosedur. Setidaknya ditemukan tiga kondisi yang berkontribusi langsung terhadap timbulnya kebocoran pada sambungan skeg, yaitu:

1. Permukaan Material Tidak Dibersihkan Sebelum dilas (Man and Metode)
sisa kotoran, karat, minyak, dan debu pada permukaan pelat maupun kampuh las (joint preparation) masih menempel saat proses pengelasan dilakukan. Hal tersebut akan ikut terbakar dan terperangkap di dalam logam las, menjadi sumber gas dan terak yang memicu porositas .



Gambar 11 Kondisi Permukaan Pelat/Kampuh Las Yang Tidak Dibersihkan Sebelum Pengelasan

2. Permukaan Tidak Digerinda (Man and Metode)
 area di sekitar sambungan tidak dihaluskan/dibersihkan dengan gerinda sebelum pengelasan, sehingga permukaan logam induk masih memiliki bekas potongan yang kasar. Kondisi ini menghambat penetrasi las dan meningkatkan risiko undercut pada tepi sambungan.



Gambar 12 Kondisi Permukaan Kampuh Las Yang Tidak Digerinda

3. Kawat Las (Elektroda) Dismpan dalam ruang terbuka.(Manusia, Material and lingkungan)
 elektroda yang telah menyerap uap air (baik karena penyimpanan yang tidak sesuai maupun terpapar kelembapan lingkungan kerja) akan melepaskan hidrogen saat proses pengelasan berlangsung. Hidrogen ini terperangkap dalam logam las dan menjadi penyebab utama porosity.



Gambar 13 Kondisi Elektroda/Kawat Las Yang Lembab

4. Pekerjaan dilakukan di ruang terbuka (Lingkungan)

Proses pengelasan dilakukan di area terbuka sehingga kondisi lingkungan, seperti debu dan kelembapan udara, dapat memengaruhi kualitas pengelasan. Jika elektroda tidak disimpan dengan benar, kelembapan lingkungan dapat menyebabkan elektroda menjadi lembap dan meningkatkan risiko terjadinya porosity pada hasil las.



Gambar 14 Dilakukan diruang terbuka

minimnya kontrol pada tahap persiapan pengelasan menjadi pemicu utama munculnya berbagai jenis cacat las yang pada akhirnya terdeteksi sebagai titik kebocoran saat pengujian Air Pressure Test dilakukan.

3.2.3 Cacat las yang ditemui

Ada beberapa defect pengelasan yang sering terjadi saat tes kebocoran pada bangunan kapal baru beserta penyebabnya dan cara mengatasinya yaitu.

1. Undercut

yaitu defect yang terjadi di bagian permukaan pengelasan. Penyebabnya bisa berupa arus pengelasan yang terlalu besar, kecepatan las yang terlalu tinggi, panjang busur las yang terlalu tinggi, atau posisi elektroda yang kurang tepat. Untuk mencegahnya yaitu dengan cara menyesuaikan arus pengelasan, turunkan kecepatan las, dan perpendek panjang busur. Undercut menyebabkan kebocoran karena cacat ini berupa alur atau cekungan pada tepi sambungan las yang membuat ketebalan logam di area tersebut berkurang secara signifikan dibandingkan pelat sekitarnya. Penipisan ini melemahkan penampang sambungan dan sering kali tidak tertutup sempurna oleh logam las, sehingga meninggalkan celah kecil yang tembus dari sisi luar ke sisi dalam ruang skeg. Pada saat ruang skeg diberi tekanan udara, celah pada area undercut inilah yang menjadi jalur keluarnya udara, yang kemudian terdeteksi sebagai gelembung sabun pada titik tersebut.



Gambar 15 Undercut

2. Porosity

yaitu lubang-lubang kecil pada logam las/jalur las. Penyebabnya bisa elektroda yang lembap atau terkena air, busur las terlalu panjang, atau arus pengelasan terlalu rendah. Untuk pencegahannya bisa dengan cara memastikan elektroda kering dan sesuaikan parameter pengelasan. elektroda yang telah menyerap uap air (baik karena penyimpanan yang tidak sesuai maupun terpapar kelembapan lingkungan kerja) akan melepaskan hidrogen saat proses

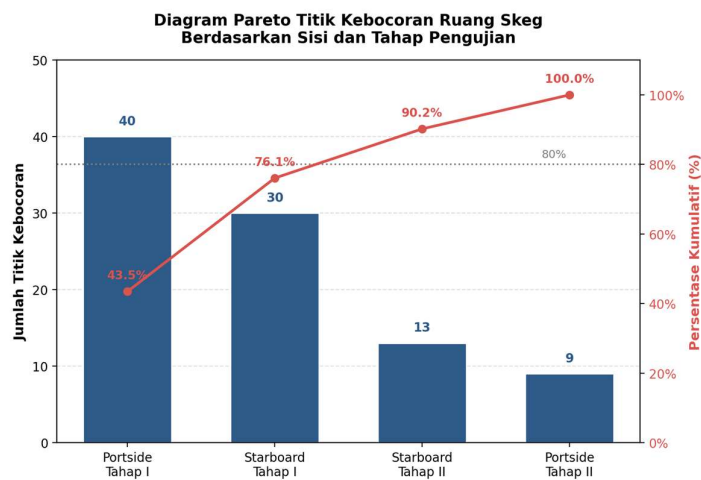
pengelasan berlangsung. Hidrogen ini terperangkap dalam logam las dan menjadi penyebab utama porosity.



Gambar 16 Porosity

Dari cacat las di atas, temuan di lapangan pada ruang skeg kapal tongkang 330 ft didominasi oleh indikasi porosity dan undercut pada sambungan pelat yaitu permukaan yang tidak dibersihkan dan tidak digerinda (mendorong porosity, dan undercut) serta kondisi elektroda yang lembab (mendorong porosity). Sebaran titik kebocoran yang lebih banyak pada sisi portside (40 titik) dibandingkan starboard (30 titik) pada pengujian tahap I mengindikasikan bahwa kualitas persiapan dan pelaksanaan pengelasan pada kedua sisi tidak seragam, yang dapat dipengaruhi oleh perbedaan juru las, posisi pengelasan, maupun kedisiplinan penerapan prosedur persiapan permukaan pada masing-masing sisi.

Untuk mengidentifikasi kontribusi terbesar terhadap total titik kebocoran yang ditemukan selama penelitian, dilakukan analisis menggunakan diagram Pareto sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram Pareto Titik Kebocoran Ruang Skeg Berdasarkan Sisi dan Tahap Pengujian

Diagram tersebut menunjukkan bahwa titik kebocoran pada pengujian tahap I di kedua sisi skeg (Portside 40 titik dan Starboard 30 titik) menyumbang sebesar 76,1% dari total keseluruhan titik kebocoran yang ditemukan selama tiga tahap pengujian, sementara titik kebocoran baru yang muncul pada tahap II (setelah repair pertama) hanya menyumbang 23,9% sisanya. Sesuai dengan prinsip Pareto (80/20), hasil ini menegaskan bahwa sumber utama permasalahan kebocoran terletak pada kualitas pengelasan awal sebelum repair, sehingga upaya perbaikan proses sebaiknya difokuskan pada tahap persiapan dan pelaksanaan pengelasan awal, bukan semata-mata pada perbaikan .

3.3 Analisis Efektivitas Repair Berdasarkan Pengurangan Titik kebocoran

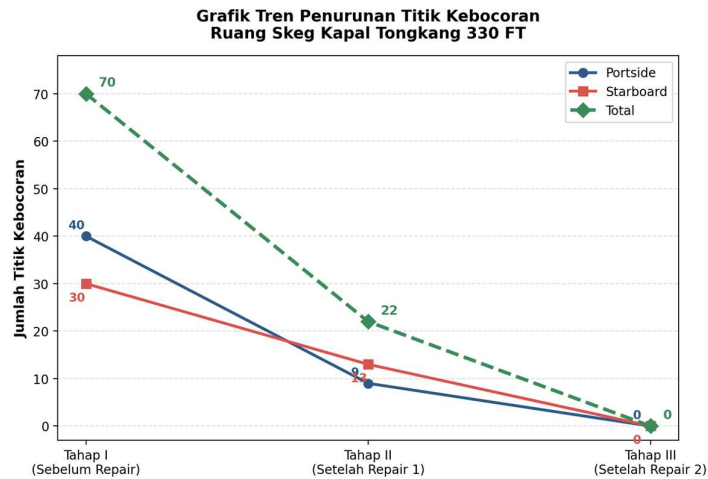
Efektivitas repair dievaluasi dengan membandingkan jumlah titik kebocoran pada setiap tahap pengujian sebelum dan sesudah repair dilakukan. Karena penelitian ini melibatkan tiga tahap pengujian, efektivitas dihitung baik secara bertahap (efektivitas repair pertama dan repair kedua) maupun secara total (dari tahap I hingga tahap III). Perhitungan persentase efektivitas repair menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Efektivitas Repair (\%)} = \frac{(Ta - Tb)}{Ta} \times 100\% \quad [10]$$

Berdasarkan data pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.4, dan Tabel 3.6 hasil perhitungan efektivitas repair untuk masing-masing sisi skeg dapat dilihat pada Tabel 3.7.

$$\text{Efektivitas Repair 1 (Portside)} = \frac{(40-9)}{40} \times 100\% = 77,5\%$$

$$\text{Efektivitas Repair 2 (Portside)} = \frac{(9-0)}{9} \times 100\% = 100\%$$



Gambar 18. Grafik Tren Penurunan Titik Kebocoran Ruang Skeg Kapal Tongkang 330 FT

Tren penurunan jumlah titik kebocoran pada setiap tahap pengujian. Grafik tersebut memperlihatkan penurunan yang konsisten pada kedua sisi skeg, dari 70 titik kebocoran pada tahap I menjadi 22 titik pada tahap II, dan menjadi 0 titik pada tahap III. Tren ini menggambarkan secara visual bahwa proses repair yang dilakukan secara bertahap dan disertai pengujian ulang mampu menurunkan jumlah titik kebocoran secara signifikan hingga struktur skeg dinyatakan sepenuhnya kedap.

Tabel 3.7. Perhitungan Efektivitas Repair

Bagian Skeg	Tahap 1	Tahap 2 (Repair 1)	Tahap 3 (Repair 2)	Efektivitas Repair 1	Efektivitas Repair 2
Portside	40	9	0	77,5%	100%
Starboard	30	13	0	56,7%	100%
Total	70	22	0	68,6%	100%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa secara total, repair yang dilakukan melalui dua siklus perbaikan memberikan efektivitas sebesar 100%, baik pada sisi portside maupun starboard. Namun demikian, perbedaan efektivitas antara repair pertama (68,6%) dan repair kedua (100%) memberikan gambaran penting bahwa proses repair pada struktur kedap air sebaiknya tidak dianggap acc hanya berdasarkan satu kali siklus perbaikan, melainkan perlu diverifikasi melalui pengujian ulang hingga benar-benar tidak ditemukan indikasi kebocoran. Perbedaan durasi pengujian pada masing-masing tahap turut memperkuat validitas temuan ini: durasi 60 menit pada tahap I dan tahap III memberikan waktu pengamatan yang cukup untuk mendeteksi kebocoran sekecil apa pun, sedangkan durasi 30 menit pada tahap II tetap berhasil mengidentifikasi 22 titik kebocoran baru, menunjukkan bahwa kebocoran pada tahap tersebut cukup jelas terdeteksi meskipun durasi pengujian lebih singkat. Dengan demikian, struktur skeg kapal tongkang 330 ft dinyatakan telah memenuhi kriteria kedap sesuai standar tekanan uji Air Pressure Test yang berlaku dan dinyatakan diterima (ACC) untuk dioperasikan.

4 Kesimpulan

1. Hasil uji kedap pada ruang skeg kapal tongkang 330 FT menggunakan metode Air Pressure Test menunjukkan bahwa pada pengujian tahap pertama ditemukan sebanyak 70 titik kebocoran, yang terdiri dari 40 titik pada sisi portside dan 30 titik pada sisi starboard. Setelah dilakukan repair pertama, jumlah kebocoran berkurang menjadi 22 titik, dan setelah repair kedua tidak ditemukan lagi titik kebocoran. Hasil tersebut menunjukkan bahwa struktur skeg telah memenuhi persyaratan kedap sesuai standar pengujian dan dinyatakan accepted (ACC) oleh Quality Control.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada ruang skeg berasal dari ketidaksempurnaan proses persiapan dan pelaksanaan pengelasan. Berdasarkan hasil observasi lapangan, penyebab utama meliputi permukaan material yang tidak dibersihkan sebelum pengelasan, permukaan sambungan yang tidak digerinda, serta penggunaan elektroda yang lembap akibat penyimpanan yang kurang baik. Kondisi tersebut memicu terjadinya cacat las seperti porosity dan undercut, yang menjadi penyebab utama munculnya kebocoran pada saat dilakukan Air Pressure Test.
3. Efektivitas repair berdasarkan persentase pengurangan titik kebocoran menunjukkan hasil yang sangat baik. Repair pertama mampu mengurangi jumlah titik kebocoran dari 70 titik menjadi 22 titik dengan efektivitas sebesar 68,6%, sedangkan repair kedua berhasil menghilangkan seluruh titik kebocoran sehingga efektivitas mencapai 100%. Hasil tersebut membuktikan bahwa pelaksanaan repair yang disertai pengujian ulang secara bertahap efektif untuk memastikan struktur skeg benar-benar kedap sebelum kapal dioperasikan.

Implikasi Penelitian :

- Hasil penelitian ini memberikan beberapa implikasi praktis bagi industri galangan kapal, khususnya dalam proses fabrikasi dan pengujian kedap struktur kapal. Pertama, temuan

bahwa mayoritas kebocoran bersumber dari tahap persiapan sebelum pengelasan (*welding preparation*) — seperti permukaan material yang tidak dibersihkan dan tidak digerinda, serta elektroda yang disimpan dalam kondisi lembap — menunjukkan bahwa pengendalian kualitas tidak cukup dilakukan hanya pada tahap akhir melalui *air pressure test*, melainkan harus diperketat sejak tahap persiapan pengelasan. Galangan kapal perlu menerapkan *checklist* inspeksi pra-pengelasan (*pre-weld inspection*) secara konsisten, termasuk verifikasi kebersihan permukaan pelat dan kondisi penyimpanan elektroda, sebagai langkah pencegahan terhadap potensi kebocoran.

- hasil analisis efektivitas repair yang menunjukkan peningkatan dari 68,6% pada siklus pertama menjadi 100% pada siklus kedua mengindikasikan bahwa proses repair pada struktur kedap tidak selalu bisa berdasarkan satu kali perbaikan. Implikasinya, galangan kapal perlu menetapkan prosedur baku (SOP) yang mewajibkan pengujian ulang (*re-test*) secara menyeluruh setelah setiap siklus repair, alih-alih hanya memeriksa titik-titik yang sebelumnya ditandai bocor, mengingat penelitian ini menemukan adanya titik kebocoran baru yang muncul akibat perpindahan tekanan udara setelah repair pertama.
- Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan pentingnya pengendalian kualitas yang menyeluruh, mulai dari tahap persiapan material, pelaksanaan pengelasan, hingga verifikasi berulang melalui pengujian kedap, sebagai upaya untuk menekan risiko kebocoran, mengurangi biaya repair pasca-konstruksi, serta mencegah keterlambatan delivery kapal kepada pemilik.

Daftar Pustaka

- [1] Muhammad Fauzan Nurja Hafizhsyach, *Pengujian Kebocoran pada Tangki Kapal Tugboat 2400 HP*, 2024.
- [2] Firda Herlina, *ANALISA TEKNIS PENGUJIAN KEKEDAPAN PENGELASAN*, 2018.
- [3] Cintia Choirunnisa Harsono, *UPAYA PENANGGULANGAN KEBOCORANTANGKI MUATAN MT. SEPINGGAN P.3008DENGAN FISHBONE ANALYSIS*, 2024.
- [4] David Prayogo, *ANALISIS TEKNIS PENAMBAHAN LUBANG PADA BAGIAN SKEGKAPAL TUGBOATSERTA PENGARUHNYA TERHADAP ALIRAN DAN HAMBATAN MENGGUNAKAN METODE COMPUTATIONALFLUID DYNAMICS*, 2025.
- [5] navale-engineering, *Airtest Kapal atau Test Kebocoran Kapal*, 27 February 2013.
- [6] BKI, "Rules for the Classification and Construction Part 5: Seagoing Ships, Volume II: Rules for Hull...," Jakarta, 2017.
- [7] M. R. Alfajri, *Analisa Uji Kecedapan Fresh Water Tank Pada Kapal Tugboat 26 M Dengan Membandingkan Metode Air Pressure Test Dan Penetrant Test.*, 2024.
- [8] Muh.Syaifullah.A, *EVALUASI PENGUJIAN HASIL WELDING PELAT DENGAN METODE CHALK TEST DAN AIR PRESSURE TEST*, 2023.
- [9] Achmadi, *18 Macam Cacat Las dan Penyebabnya Serta Cara Mengatasi*, 20 January 2024.
- [10] JODDY FELIX FERDIAN, "Program Studi Teknik Lingkungan," *EFEKTIVITAS BIJI KELOR (Moringa oleifera) UNTUK*, 2023.