

ANALISIS PROSES LAJU KOROSI PELAT TANK TOP PADA KAPAL *BULK CARRIER* MV TRIFOSA DI GALANGAN JANATA MARINA INDAH SEMARANG

Alfian Luthfi N, Muizzaddin Wa'dulloh, Zihni Ihkamuddin, Sutini
Universitas Maritim AMNI Semarang, Indonesia

**Corresponding author e-mail : alfianlutfihamster@gmail.com*

Abstrak

Penelitian ini membahas analisis proses laju korosi pelat *tank top* pada kapal *bulk carrier* MV *Trifosa* di Galangan Janata Marina Indah Semarang. *Tank top* merupakan komponen struktural penting yang berfungsi menopang beban muatan curah, sehingga ketahanan terhadap korosi sangat krusial bagi keselamatan dan umur pakai kapal. Masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana laju korosi pada material baja ASTM A36 dan A572 ketika terpapar air hujan maupun air laut, serta apakah tingkat kekerasan pelat memengaruhi laju korosi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan studi lapangan, uji laboratorium, serta studi literatur. Data primer diperoleh melalui pengujian langsung pada material pelat baja, sedangkan data sekunder dikumpulkan dari dokumen teknis dan referensi pustaka. Analisis dilakukan dengan menghitung laju korosi menggunakan rumus standar serta uji kekerasan *Rockwell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju korosi pada baja A36 dan A572 berbeda ketika direndam dalam media korosif, dengan kecenderungan material yang lebih rendah kekerasannya mengalami laju korosi yang lebih cepat. Selain itu, uji *Rockwell* memperlihatkan bahwa nilai kekerasan pelat berpengaruh signifikan terhadap tingkat ketahanan korosi. Dapat disimpulkan bahwa pemilihan material, perlakuan permukaan, dan metode perlindungan seperti coating menjadi faktor penting untuk mengurangi risiko korosi pada pelat *tank top*. Temuan ini diharapkan dapat memberikan masukan bagi industri galangan kapal dalam upaya optimalisasi perawatan dan perbaikan kapal, khususnya dalam meningkatkan efisiensi dan umur pakai struktur pelat *tank top*.

Kata Kunci : *Tank top*, korosi, A36, A572, kekerasan

Abstract

This research discusses the process analysis of tank top plate corrosion rate on bulk carrier MV Trifosa at Janata Marina Indah Shipyard Semarang. The tank top is an important structural component that supports the bulk cargo load, so corrosion resistance is crucial for the safety and service life of the ship. The main problem raised in this study is how the corrosion rate of ASTM A36 and A572 steel materials when exposed to rainwater and seawater, and whether the hardness level of the plate affects the corrosion rate. The research method used is a quantitative method with the approach of field studies, laboratory tests, and literature studies. Primary data was obtained through direct testing on steel plate materials, while secondary data was collected from technical documents and literature references. The analysis was carried out by calculating the corrosion rate using the standard formula and

Article History

Received: Desember 2025
Reviewed: Desember 2025
Published: Desember 2025

Plagiarism Checker No 782
Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under
a [Creative Commons
Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Rockwell hardness test. The results showed that the corrosion rates of A36 and A572 steel were different when immersed in corrosive media, with a tendency for materials with lower hardness to experience faster corrosion rates. In addition, the Rockwell test shows that the hardness value of the plate has a significant effect on the level of corrosion resistance. It can be concluded that material selection, surface treatment, and protection methods such as coatings are important factors to reduce the risk of corrosion of tank top plates. These findings are expected to provide input for the shipyard industry in an effort to optimize ship maintenance and repair, especially in improving the efficiency and service life of tank top plate structures.

Keywords : Tank top, corrosion rate, A36, A572, hardness

1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara maritim, mengalami peningkatan signifikan dalam aktivitas perdagangan dan ekspor-impor yang menggunakan jalur laut. *Bulk carrier* kapal pengangkut barang curah seperti batubara, biji besi, semen, hasil tambang, hasil pertanian seperti jagung, gandum, kopi, beras merupakan tulang punggung pengiriman barang dalam jumlah besar. Komponen struktural penting pada kapal jenis ini adalah *tank top*, yakni plat dasar ruang muat (*cargo hold*), yang secara langsung menahan beban muatan dan memberi kontribusi pada integritas struktur lambung kapal, kekuatan dan keandalan *tank top* sangat krusial. (Nurochman, Mulyatno, Yudho. 2021).

Mengingat *tank top* terus-menerus terpapar pada beban kargo yang berat, abrasi selama proses bongkar muat, serta potensi korosi dari sisa kargo dan lingkungan tangki di bawahnya, integritas strukturalnya sangat vital. Kerusakan atau kegagalan pada pelat *tank top* dapat mengakibatkan konsekuensi serius, mulai dari hilangnya efisiensi operasional, kerusakan kargo, hingga risiko kebocoran dan dampak lingkungan. Oleh karena itu, perbaikan dan pemasangan kembali pelat *tank top* yang rusak menjadi aktivitas krusial dalam pemeliharaan dan perbaikan kapal. Proses pemasangan pelat *tank top* ini bukanlah sekadar penggantian material, melainkan melibatkan serangkaian tahapan kompleks mulai dari persiapan, fabrikasi, *fitting*, pengelasan, hingga inspeksi, yang semuanya harus dilakukan sesuai standar dan prosedur yang ketat. Kesalahan dalam setiap tahapan dapat berujung pada cacat struktural yang mengurangi ketahanan jangka panjang pelat. Studi ini akan menganalisis secara mendalam proses pemasangan pelat *tank top cargo hold* pada kapal *bulk carrier* MV Trifosa di Galangan Janata Marina Indah Semarang, dengan fokus pada praktik terbaik dan potensi peningkatan efisiensi serta kualitas pekerjaan.

Pada AWB 6,774 DWT menekankan pentingnya analisis kekuatan *tank top* menggunakan metode elemen hingga (FEM), menunjukkan bahwa tegangan *von Mises* dan deformasi merupakan indikator utama kualitas pemasangan selain itu, standar ketebalan plat *tank top* menurut BKI yaitu maksimal keausan 20%, untuk memastikan keberlanjutan operasional kapal. (Nurochman, Mulyatno, dan Yudo 2021). Meski demikian, di lapangan seperti di Galangan Janata Marina Indah Semarang, metode pemasangan yang masih bersifat konvensional menyisakan berbagai tantangan, kesesuaian dimensi yang kurang tepat, kesulitan penanganan serta masalah pada kualitas pelat.

Belum lagi risiko keselamatan kerja yang meningkat apabila terjadi penyimpangan prosedur. Dalam konteks tersebut, diperlukan sebuah analisis sistemik untuk mengevaluasi proses pemasangan *tank top* di kapal MV Trifosa. Optimalisasi diperlukan tidak hanya dari sisi teknis meliputi akurasi kontrol dimensi, metode fitting, hingga keamanan pekerja tetapi juga dari aspek manajemen proyek agar target kualitas dapat tercapai. Teknik optimasi berbasis evaluasi komparatif terhadap metode konvensional dan terotomasi bisa menjadi solusi yang relevan, sebagaimana dibahas dalam kajian teknik struktural lainnya seperti konversi *double-hull chemical carrier*. Dengan studi ini diharapkan akan diperoleh rekomendasi praktik terbaik dan inovasi teknis yang dapat diterapkan di galangan kapal domestik, meningkatkan efisiensi, keamanan, percepatan laju korosi, dan kualitas proses pemasangan pelat *tank top* di kapal *bulk carrier* seperti MV Trifosa.

Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam, akibat terjadinya reaksi logam tersebut dengan lingkungan di sekitarnya atau bisa juga dua jenis logam yang berbeda menyatu dan terkena air hujan ataupun air laut, oleh karena itu bahan-bahan yang terbuat dari logam atau paduannya dapat mengalami kerusakan akibat terserang korosi. Sehingga korosi harus dicegah atau dikendalikan lajunya. Akibat kerusakan yang ditimbulkan korosi tersebut, maka dapat diperkirakan secara kasar bahwa, penanggulangan korosi mencapai 1,5 % dari (Irwan, 2024).

Baja dan paduan tembaga merupakan logam yang sering dipakai dalam sarana kehidupan manusia, yang mudah terserang oleh korosi. Penggunaan baja karbon sebagai material konstruksi dalam industri dinilai lebih ekonomis daripada material paduan tahan korosi. Namun permasalahan utama dalam penggunaan baja karbon sebagai material adalah permasalahan korosi (Shella 2022). Pada penelitian ini, akan dibahas tentang pemasangan pelat *tank top cargo hold* dan laju korosi yang terjadi pada pelat *tank top*. Dengan adanya masalah tersebut, salah satu pencegahan terhadap korosi adalah dengan cara pelapisan. Analisis proses pemasangan pelat *tank top* dan laju korosi pada pelat merupakan hal yang penting untuk dipahami dalam upaya meningkatkan keberlangsungan material baja tersebut. (Aji, Syahrir, dan Sulistyono 2015).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Kapal *Bulk Carrier*

Kapal *bulk carrier* adalah jenis kapal niaga yang secara khusus dirancang untuk mengangkut muatan curah (*bulk cargo*) dalam jumlah besar dan tidak dikemas secara individual. Kapal *bulk carrier* digunakan untuk memindahkan bahan mentah dalam jumlah besar. Kapal ini memiliki peran penting dalam menghubungkan rantai pasokan yang ada dengan membawa barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan jumlah yang besar dalam satu kali perjalanan, sehingga mampu menghemat waktu pengiriman. Di dalam konstruksi kapal *bulk carrier* yang mayoritas beban muatannya ditahan oleh struktur potongan melintang berbentuk segitiga dari tangki tangki *topside* yang berada langsung dibawah *deck* utamanya serta tangki-tangki dasar ganda (*double bottom*) dan tangki-tangki *hopper* di lambung bawah kapal menambah kekuatan badan atau lambung kapal, yang memungkinkan ruang-ruang palkanya dibuat lebih besar. Selanjutnya, struktur palkanya memungkinkan muatan curahnya termuat tanpa diatur-aturlagi (*trimming*), sehingga memungkinkan kapal memuat dalam jumlah yang banyak dengan efisien. Peran dari tangki-tangki *hopper* bukan hanya memperkuat struktur badan

kapal, namun juga mempermudah pembongkaran muatan. (Prayitno, Amirudin, dan Rindo 2024)

Di Indonesia penggunaan armada kapal *bulk carrier* yang tercatat pada Kementerian Perhubungan Republik Indonesia berada pada kisaran 1,58% dari total kapal di Indonesia yang beroperasi. Dengan rincian 53 unit *bulk carrier* dengan izin *SIOPSUS* dan 294 unit *bulk carrier* dengan izin *SIUPAL* dari total 21.845 unit kapal yang terdaftar. Sedangkan untuk penggunaan armada kapal *bulk carrier* Indonesia terhadap total kapal *bulk carrier* yang beroperasi secara global berada pada kisaran 2,7%. Total kapal *bulk carrier* yang terdaftar secara global adalah 12.766 unit. Dalam dua dekade terakhir, banyak terjadi kecelakaan yang melibatkan kapal *bulk carrier*. Penyebab kecelakaan yang paling sering terjadi pada *bulk carrier* yaitu *liquefaction cargo shift* yang mempengaruhi stabilitas kapal terutama ruang muat sehingga kapal terbalik, kapal Bulk Carrier asal Indonesia. (Putria, dan Ayuba 2020). Diperlukan peningkatan keamanan dan keselamatan pada kapal *bulk carrier* terutama dari segi stabilitas kapal sehingga hal yang sama tidak terjadi.

Indonesia berada pada lokasi geografis yang strategis, yakni persimpangan rute pelayaran Internasional di Selat Malaka yang menghubungkan Eropa ke Asia Timur dan menghubungkan Asia Timur ke Australia. Untuk mendukung potensi yang ada maka diperlukan ketersediaan armada transportasi yang layak dan mampu bersaing dengan kapal-kapal berbendera asing dalam upaya pendistribusian hasil alam, dan industri Indonesia.

2.2 *Cargo Hold* dan *Tank Top*

Cargo Hold adalah lubang palka digeladak, untuk memungkinkan muatan keluar masuk ruang muat pada pembongkaran atau pemuatan dalam konteks kapal niaga, terutama kapal *bulk carrier*, *cargo hold* atau ruang muat merujuk pada bagian dalam kapal yang digunakan untuk menampung muatan dalam jumlah besar. Lubang palka tersebut disebut juga *hatch opening* ditutup dengan *hatch cover* yang dapat dibuka-tutup saat proses bongkar muat berlangsung, di dasar dari setiap *cargo hold* terdapat pelat *tank top* atau juga *inner bottom plate*, yaitu lantai struktural yang menopang langsung beban muatan curah. *Tank top* harus kuat dan tahan aus karena menjadi tumpuan utama seluruh muatan kargo.

Biro Klasifikasi Indonesia adalah satu-satunya badan klasifikasi nasional di Indonesia yang memiliki wewenang untuk melakukan klasifikasi kapal berbendera Indonesia, serta kapal berbendera asing yang beroperasi secara teratur di perairan Indonesia. Menurut BKI (*rules for building and classing seagoing ships, vol. ii - seagoing ship safety construction rules for hull*) Aturan untuk lambung. Bagian ini adalah inti dari aturan klasifikasi struktural kapal. Untuk lambung ganda (*double hull*) dan khususnya alas ganda (*double bottom*), Volume ini akan membahas mengenai beberapa section, sebagai berikut:

a. *Section 3 (Design Principles) Prinsip Desain*

Menguraikan filosofi desain struktural kapal, termasuk konsep keamanan, pertimbangan beban (gravitasi, hidrostatik, inersia, dinamis), dan respons struktural terhadap beban tersebut. Ini juga akan mencakup prinsip-prinsip umum untuk memastikan integritas struktural, seperti kekuatan, dan stabilitas komponen.

b. *Section 4 (Design Load) Beban Desain*

Menjelaskan jenis-jenis beban yang harus dipertimbangkan dalam desain *double hull* dan *double bottom*. Ini termasuk beban air *ballast*, beban kargo baik cairan maupun padatan, beban hidrodinamik selama pelayaran termasuk *sloshing* di dalam tangki, dan beban lokal dari pondasi mesin atau peralatan lainnya. Untuk pelat *inner bottom*, Biro Klasifikasi Indonesia akan menentukan beban minimum yang harus ditahan, tergantung pada jenis kapal seperti, tanker minyak, *bulk carrier*, kapal kontainer, dan jenis kargo yang diangkut..

c. *Section 5 (Longitudinal Strength) Kekuatan Memanjang*

Meskipun lebih umum untuk lambung keseluruhan, aturan ini akan memastikan bahwa *double bottom* berkontribusi pada kekuatan longitudinal kapal sebagai balok utama. Ini berkaitan dengan momen lentur dan gaya geser yang dialami kapal secara keseluruhan.

2.3 Proses Perbaikan *Tank Top*

Perbaikan *tank top cargo hold* di galangan kapal adalah proses yang kompleks dan krusial untuk menjaga integritas struktural kapal, terutama kapal curah (*bulk carrier*) yang sering mengalami kerusakan pada area ini akibat muatan berat dan proses bongkar muat. Proses ini melibatkan serangkaian tahapan yang terencana dan terkontrol dengan ketat. Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) memiliki standar dan aturan yang jelas untuk proses perbaikan pelat *tank top* (alas dalam) atau *inner bottom plate* pada kapal. Standar ini sangat penting untuk memastikan integritas struktural dan keselamatan kapal setelah perbaikan.

Beberapa poin penting terkait standar BKI untuk perbaikan ini meliputi Ketebalan Minimal Pelat, BKI menetapkan batasan keausan maksimal yang diizinkan pada pelat-pelat struktural kapal, termasuk *tank top* dan *inner bottom*. Jika ketebalan pelat yang diukur setelah beroperasi kurang dari persentase tertentu dari ketebalan awal kurang dari 80% atau 70% tergantung pada area dan jenis pelat, maka pelat tersebut harus diganti dilakukan *replating*. Misalnya, untuk *tank top* pelat alas dalam, BKI seringkali memiliki standar keausan maksimal yang berbeda untuk pelat tepi dan pelat lainnya. BKI akan melakukan survei rutin tahunan, menengah, atau khusus untuk memeriksa kondisi lambung kapal, termasuk *tank top* dan *keel plate*. Surveyor BKI akan menggunakan alat seperti *Ultrasonic Thickness Gauge* (UTG) untuk mengukur ketebalan pelat. Hasil survei ini akan menjadi dasar rekomendasi perbaikan. Jika ditemukan kerusakan atau keausan yang melebihi batas toleransi, BKI akan mensyaratkan perbaikan. Ini bisa berupa penggantian sebagian atau seluruh pelat (*replating*), perbaikan las, atau penguatan struktur.

BKI juga memiliki standar mengenai material yang digunakan untuk perbaikan, dan prosedur pengelasan yang harus diikuti. Ini termasuk sertifikasi juru las, spesifikasi prosedur las (WPS - *Welding Procedure Specification*), dan kontrol kualitas hasil pengelasan. Galangan kapal yang melakukan perbaikan juga harus memiliki sertifikasi bengkel las yang diakui. Untuk perbaikan besar, terutama jika melibatkan perubahan desain atau penggantian area yang signifikan, pemilik kapal atau galangan harus mengajukan gambar dan perhitungan rinci desain perbaikan kepada BKI untuk diperiksa dan disetujui sebelum pekerjaan dimulai. Selama proses perbaikan, surveyor BKI akan melakukan inspeksi untuk memastikan bahwa pekerjaan dilaksanakan sesuai dengan standar yang disetujui.

2.4 Manajemen Proyek Konstruksi Kapal

Proses pemasangan pelat *tank top* pada kapal *bulk carrier* merupakan salah satu tahapan krusial dalam konstruksi maupun perbaikan kapal. Efisiensi dan kualitas pemasangan pelat ini secara langsung memengaruhi integritas struktural, kapasitas muatan, dan waktu penyelesaian proyek. Kapal *bulk carrier* MV Trifosa, sebagai objek penelitian di Galangan Janata Marina Indah (JMI) Semarang, sering menghadapi tantangan dalam proses ini, seperti potensi *bottleneck* produksi, deviasi dimensi, atau standar kualitas yang belum optimal.

Skripsi ini akan menganalisis secara mendalam proses pemasangan pelat tank top cargo hold yang sedang berjalan, mengidentifikasi area-area yang belum optimal, dan merumuskan strategi optimalisasi yang dapat meningkatkan efisiensi waktu, kualitas pengerjaan di Galangan JMI Semarang.

1. Perencanaan proyek optimalisasi lingkup proyek

a. Identifikasi masalah

Analisis awal terhadap tantangan yang sering muncul dalam proses pemasangan pelat *tank top*, menghitung nilai kekerasan pelat, dan menghitung laju korosi.

b. Tujuan optimalisasi

Menentukan target spesifik, proses pemasangan pelat tank top, menghitung nilai kekerasan pelat, dan menghitung laju korosi.

c. Batasan proyek

Berfokus pada proses pemasangan pelat tank top cargo hold pada MV Trifosa, tidak mencakup seluruh struktur kapal atau aspek non-teknis lainnya yang tidak relevan langsung dengan pemasangan pelat.

3 Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Metodologi penelitian ini yang merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan data, menyusun data, menganalisis data, menginterpretasikan data dan akhirnya pada kesimpulan yang didasarkan pada analisis data. Penelitian ini adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu yang didasarkan pada ciri-ciri keilmuan, yaitu rasional, empiris, dan sistematis. Rasional berarti kegiatan penelitian itu dilakukan dengan cara-cara yang masuk akal, sehingga terjangkau oleh penalaran manusia. Empiris berarti cara-cara yang dilakukan itu dapat diamati oleh indera manusia, sehingga orang lain dapat mengamati dan mengetahui cara-cara yang digunakan. Sistematis artinya proses yang digunakan dalam penelitian itu menggunakan langkah-langkah tertentu yang bersifat logis (Sugiono 2019).

Metode yang baik adalah salah satu syarat terpenting dalam suatu penelitian, karena benar salahnya suatu kesimpulan yang diambil sangat ditentukan oleh baik tidaknya metode yang dipakai. Kesalahan dalam menentukan metode akan mengakibatkan kesalahan dalam pengambilan data serta kesalahan dalam pengambilan keputusan. Semakin tepat metode yang akan digunakan diharapkan semakin baik. Metode dalam penelitian menjabarkan jenis penelitian, lokasi penelitian, sumber data, teknis pengumpulan data, validasi data, metode penentuan informan, dan teknik analisis data, dengan penjelasannya sebagai berikut.



3.2 Studi Literatur

Pada penelitian ini diperlukan jenis data penelitian sebagai berikut

1. Data kualitatif

Data kualitatif adalah data yang dicatat bukan berbentuk angka-angka tetapi dengan menggunakan klasifikasi-kelarifikasi data ini merupakan metode pengolahan data dalam bentuk uraian-uraian tentang fenomena data yang diteliti berdasarkan teori-teori terkait dengan masalah yang dianalisa.

2. Data kuantitatif

Data kuantitatif adalah Kesimpulan angka-angka hasil observasi atau pengukuran metode Analisa data yang dilakukan dengan menggunakan Teknik-teknik data yang terkumpul data diujikan secara kuantitatif.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Intrumen pengumpulan data yang digunakan adalah kuesioner yaitu daftar pertanyaan tertulis yang diberikan secara langsung kepada kepala bidang dan pekerja yang berada di PT Janata Marina Indah Semarang sedang melakukan proses pemasangan pelat tank top pada kapal MV Trifosa. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Pengamatan Langsung (Observasi)

Metode ini dengan mengadakan pengamatan langsung ke objek penelitian pada PT Janata Marina Indah Semarang dalam hal ini penulisan mengamati waktu yang diperlukan untuk proses pemasangan tank top pada kapal MV Trifosa atau yang berkaitan dengan penelitian yang di ambil di PT Janata Marina Indah Semarang.

2. Wawancara

Wawancara yaitu komunikasi dua arah antara penelitian dengan kepala bidang dan pekerja yang berkaitan dengan masalah yang diteliti dengan mengadakan tanya jawab secara formal kepada beberapa kepala bidang sesuai dengan data yang di butuhkan PT Janata marina indah semarang.

3. Dokumentasi

Peneliti juga akan melakukan dokumentasi visual dalam bentuk foto. Dokumentasi ini berfungsi sebagai alat pendukung untuk memvisualisasikan alur kerja, posisi material, dan metode kerja yang digunakan. Data visual ini akan sangat berguna dalam proses analisis untuk membuat diagram alir (flow chart) dan mengidentifikasi gerakan-gerakan kerja yang tidak efisien.

Melalui ketiga metode ini, data yang terkumpul tidak hanya berasal dari pengamatan sekilas, tetapi juga dari praktik langsung yang terukur, sehingga memberikan fondasi data yang kuat dan detail untuk analisis optimalisasi.

3.4 Sumber Data

Yang dimaksud dengan sumber data penelitian adalah subjek dari mana asal data penelitian itu diperoleh. Sumber data dalam penelitian ini menggunakan dua sumber data yaitu data primer dan data sekunder yaitu sebagai berikut :

a. Data Primer

Data primer adalah data yang di peroleh dari hasil observasi langsung dilapangan, data yang diperoleh berupa data observasi, dalam metode pengumpulan data dengan pengamatan ini, peneliti melaksanakan pengamatan saat



proses pelayanan dari kapal sandar hingga keberangkatan di pelabuhan dan proses pemuatan yang berada di Pelabuhan Khusus PT. Semen Indonesia Tuban dan data mengenai muatan kapal, data sandar, keberangkatan, dan total muat. Sehingga data yang di peroleh dengan sebenar-benarnya.

b. Data Sekunder

Data yang didapat dari catatan, buku, majalah berupa laporan, artikel, buku-buku sebagai teori, majalah, dan lain sebagainya. Data yang diperoleh dari data skunder ini tidak perlu diolah lag. Sumber yang tidak langsung memberikan data pada pengumpulan data. Pada penelitian ini, data skunder didapatkan dari objek penelitian yaitu PT. Varia Usaha Bahari cabang Tuban, berupa data proses pelayanan kapal dari sandar hingga keberangkatan kapal di pelabuhan, data indikator kinerja utama pelabuhan, data perencanaan dermaga pemuatan *clinker* di Pelabuhan Khusus PT. Semen Indonesia Tuban.

3.5 Rumus Laju Korosi Dan Kekerasan Rockwell

Pada tahap analisis data ini, hasil pengujian material yang telah dilakukan akan diolah dan diinterpretasikan untuk menjawab tujuan penelitian. Data yang diperoleh dari pengujian laju korosi dan kekerasan akan dianalisis menggunakan perhitungan matematis yang relevan. Laju korosi merupakan salah satu parameter penting untuk mengukur seberapa cepat material mengalami degradasi akibat proses korosi. Dalam penelitian ini, laju korosi dihitung berdasarkan metode kehilangan berat (*weight loss method*) sesuai standar tertentu seperti BKI ataupun ASTM G31-72 atau standar lainnya, Rumus yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

Laju Korosi

$$CR(\text{mmtahun})=K \times \Delta W A \times t \times D \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

K = Konstanta (untuk mm/tahun, K=87.600)

ΔW = Penurunan berat setelah pengujian (mg)

A = Luas permukaan sampel (cm^2)

t = Waktu pengujian (jam)

D = Densitas material ($7,85\text{g}/\text{cm}^3$)

Hasil perhitungan laju korosi ini akan digunakan untuk membandingkan performa ketahanan korosi dari satu jenis spesimen baja Pelat ASTM A36 dengan peerbebdan ketebalan dan media elektrolit yang berbeda. Pengujian kekerasan Rockwell dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan material sampel. Nilai kekerasan

Rockwell Hardness (HR) diperoleh secara langsung dari alat uji, namun untuk keperluan analisis komparatif dan konfirmasi, data ini akan direpresentasikan

Rockwell Hardness B

$$HR = N - hS \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

HR = Nilai *rockwell hardness*

N = Konstanta (130 HRC)

h = Kedalaman penetrasi (mm)

S = Skala indenter konstanta (0,002 mm)

Kekerasan Rockwell adalah angka dimensionless (tanpa dimensi). Ini bukan ukuran dari suatu besaran fisik dengan unit standar seperti massa dalam kilogram, panjang dalam meter, atau tekanan dalam pascal. Sebaliknya, ini adalah angka yang didefinisikan secara arbitrer untuk menunjukkan resistensi relatif suatu material terhadap penetrasi. Fakta bahwa ada banyak skala Rockwell (HRC, HRB, HRA, dll.), masing-masing dengan kombinasi indenter dan beban yang berbeda, memperkuat statusnya sebagai angka relatif. Nilai X HRC tidak sama dengan X HRB, meskipun angkanya sama. Oleh karena itu, untuk memberikan makna pada nilai *Rockwell*, simbol skala harus selalu disertakan (misalnya, 60 HRC). Simbol skala ini bukan satuan dalam arti fisik, melainkan penanda konfigurasi pengujian.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Pemuatan Berdasarkan Waktu Efektif *Loading Rate* (Q/P/D:ET)

Persiapan spesimen pengujian laju korosi merupakan tahap awal yang sangat penting dalam pengujian laju korosi karena kualitas permukaan spesimen secara langsung memengaruhi keakuratan hasil pengujian. Dalam tahap ini, dilakukan persiapan spesimen material baja ASTM A36, A572. Pada proses korosi dilakukan dengan cara perendaman material uji pada lingkungan larutan air laut dan air hujan (Pattireuw, Rauf, Lumintang 2013). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat laju korosi pada pelat baja dan sifat mekanik khususnya kekerasan masing-masing material, yang berkaitan erat dengan ketahanan terhadap air hujan maupun air laut. Material yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Pelat Baja ASTM A36 dan A572

Adalah jenis baja karbon rendah yang umum digunakan, termasuk untuk pelat *tank top* pada kapal bulk carrier. Baja ini dikenal karena kekuatannya yang baik dan kemampuannya untuk mudah dilas dan tahan terhadap korosi. Galvanis, besi atau baja yang diberi lapisan seng (Zn) sebagai pelindung dari reaksi oksidasi (karat) yang biasa terjadi saat logam terkena air. *Tank top* sebagai material yang terbuat dari baja atau besi yang dilapisi dengan seng (zinc) melalui proses galvanisasi melibatkan



perendaman baja ke dalam bak lelehan seng akan bereaksi dengan baja dan membentuk lapisan pelindung yang kuat dan tahan karat untuk mencegah korosi, terutama untuk digunakan sebagai lantai dasar. Pelat baja digunakan pada kapal karena kuat, tahan karat, dan efisien, asalkan tidak terpapar oleh lingkungan yang lembab secara lama.

2. Air hujan dan Air laut

Dalam pengujian laju korosi, pemilihan media sangat penting untuk mensimulasikan lingkungan alami. Air hujan, yang umumnya memiliki pH sedikit asam (sekitar 5.6) karena adanya karbondioksida (CO_2) terlarut yang membentuk asam karbonat, dapat memicu korosi. Namun, korosivitasnya relatif rendah dibandingkan air laut. Sebaliknya, air laut jauh lebih korosif bagi baja karena kandungan garamnya yang tinggi, terutama ion klorida. Ion klorida sangat efektif dalam merusak lapisan oksida pelindung pada permukaan baja dan mempercepat reaksi elektrokimia yang menyebabkan korosi. Selain itu, air laut mengandung oksigen terlarut yang cukup tinggi, yang merupakan faktor kunci dalam proses korosi. Oleh karena itu, pengujian laju korosi menggunakan kedua media ini akan memberikan perbandingan yang jelas tentang ketahanan korosi baja ASTM A36 dan A572 di lingkungan yang berbeda, dari yang relatif lunak (air hujan) hingga yang sangat agresif (air laut).

3. Persiapan Spesimen Pengujian Kekerasan Rockwell

Persiapan spesimen adalah untuk mengambil bagian material yang mewakili struktur material sebenarnya, sekaligus memastikan dimensi dan bentuknya sesuai standar. Pemotongan dan pengukuran dilakukan agar spesimen memenuhi syarat dimensi, permukaan, dan bentuk sesuai metode pengujian kekerasan yang akan digunakan metode HRB untuk Rockwell (logam keras contohnya galvanis, baja karbon).

4. Penyesuaian Spesimen

Penyesuaian spesimen adalah untuk mengambil bagian material yang mewakili struktur material sebenarnya, sekaligus memastikan dimensi dan bentuknya sesuai standar. Pemotongan, pengukuran dan pengelasan dilakukan agar spesimen memenuhi syarat dimensi, permukaan, dan bentuk sesuai metode pengujian kekerasan yang akan digunakan metode HRB untuk Rockwell (logam keras contohnya galvanis, baja karbon) dan HRB untuk Brinell (logam lunak contohnya stainless steel, kuningan, aluminium). Penyesuaian spesimen terbagi menjadi tiga yaitu:

5. Pemotongan

Pemotongan merupakan proses dasar dalam pengolahan material untuk mendapatkan dimensi dan bentuk yang diinginkan. Material pelat baja memiliki karakteristik khusus yang mempengaruhi proses pemotongan, seperti ketahanan terhadap korosi, kekerasan, dan lapisan pelindung. Pelat baja ASTM A36 memiliki lapisan seng yang rentan terhadap kerusakan, sementara A572 lebih kuat dan tahan karat. Pemilihan alat dan Teknik pemotongan yang tepat akan memastikan hasil potongan tanpa merusak lapisan pelindung. Proses pemotongan menggunakan mesin potong besi atau cut-off saw dan menggunakan mesin gerinda untuk menghaluskan meratakan permukaan bagian samping setelah material dipotong.

6. Pengukuran

Pengukuran merupakan proses menentukan karakteristik fisik suatu bahan, seperti ketebalan, berat, panjang, lebar, serta sifat mekanik seperti kekerasan. Pengukuran material yaitu baja yang dilapisi seng untuk mencegah korosi. Pengukuran

material baja yaitu baja tahan karat yang mengandung kromium (min. 10,5%), tahan terhadap oksidasi dan korosi.

4.2 Pengukuran Spesimen

Langkah awal dalam pembuatan spesimen adalah memotong bahan baja karbon rendah. Ukuran yang dipilih berdasarkan dimensi yang ideal untuk uji korosi dengan jangka waktu yang singkat, karena memungkinkan pemerataan paparan terhadap media air laut dan air hujan, memastikan hasil uji yang akurat sehingga spesimen dapat dengan mudah di proses dan diperlakukan dalam pengujian. Spesimen Terserbut memiliki unsur-unsur tertentu yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1
Komposisi baja A36

Elements	Composition (%)
Carbon	0.260 %
Copper	0.20 %
Iron	99.0 %
Manganese	0.75 %
Phosphorous	0.40 %
Sulfur	0.050 %

A. Pengodean

Untuk memulai awal uji korosi, pertama-tama spesimen baja karbon A36 dan A572 dipersiapkan dan diberi kode untuk identifikasi. Peneliti menggunakan Kode A untuk baja A572 yang menggunakan air hujan, baja A36 dengan kode C menggunakan air hujan. Sedangkan untuk spesimen uji menggunakan air laut, kode B digunakan pada baja A572, sedangkan untuk kode D digunakan pada baja A36. Kode ini dimaksudkan untuk memastikan setiap spesimen dapat dikenali. Setelah pengkodean, spesimen ditimbang menggunakan timbangan elektronik. Berat awal setiap spesimen dicatat sebagai dasar untuk perhitungan laju korosi nantinya.

Gambar 4. 1
Pengodean spesimen uji



B. Pengukuran

Pengukuran berat awal dilakukan sebelum spesimen direndam dalam dua jenis air yang berbeda dan berat akhir spesimen dilakukan setelah proses uji korosi selesai untuk menentukan perubahan berat akibat korosi. Spesimen Baja A36 dan A572 yang telah direndam dalam kedua larutan selama waktu yang ditentukan diambil dari wadah perendaman dan dikeringkan, untuk menghilangkan sisa dari kedua larutan dan deposit korosi. Setelah proses pengeringan, spesimen tersebut ditimbang kembali menggunakan timbangan elektronik.

Tabel 4. 2
Data Pengukuran Pelat Baja A36 dan A572

Kode	Material	Medium uji	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Weight loss (g)	A cm ²
A1	A572	Air Hujan	210,554	210,552	0,002	67,6
A2	A572	Air Hujan	206,668	206,667	0,001	65,28
B1	A572	Air Laut	225,271	225,266	0,005	70
B2	A572	Air Laut	206,669	206,664	0,005	65,28
C1	A36	Air Hujan	240,114	240,111	0,003	69,12
C2	A36	Air Hujan	225,809	225,806	0,003	67,92
D1	A36	Air Laut	215,705	215,700	0,005	66,92
D2	A36	Air Laut	255,101	255,096	0,005	71,08

4.3 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi di air laut secara konsisten lebih tinggi dibandingkan di air hujan, terutama pada spesimen baja ASTM A36. Hal ini sesuai dengan teori korosi elektrokimia. Air laut memiliki kandungan ion klorida (Cl⁻) dan garam terlarut yang sangat tinggi. Akibatnya, proses anodik (oksidasi) dan katodik (reduksi) pada permukaan baja berlangsung lebih cepat, menyebabkan laju korosi yang lebih tinggi. Sebaliknya, air hujan memiliki kandungan ion dan mineral yang jauh lebih rendah, sehingga konduktivitasnya juga rendah, yang memperlambat laju korosi.

Dalam penelitian ini, laju korosi dihitung berdasarkan metode kehilangan berat (weight loss method) sesuai standar tertentu seperti BKI ataupun ASTM G31-72. Rumus yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan spesimen baja A572 dengan media uji air hujan dan air laut
 - a. Air hujan (A1)



Diketahui:

Berat awal	=	210,554 gram
Berat akhir	=	210,552 gram
K	=	87.600
A	=	67,6 cm ²
D	=	7,85 gr/cm ³
t	=	432 jam

$$CR = 87.600 \times (210,554 - 210,552) \times 67,6 \times 7,85 \times 432$$

$$CR = 87.600 \times (0.002) \times 67,6 \times 432 \times 7,85$$

$$CR = 175,2229.245,12$$

$$CR = 0,000764247457 \text{ mm/y}$$

Didapatkan hasil uji laju korosi pada spesimen A1 baja A572 menggunakan rendaman air hujan, waktu perendaman 432 jam adalah 0,000764247457 mm/y.

b. Air hujan (A2)

Diketahui:

Berat awal	=	206,668 gram
Berat akhir	=	206,667 gram
K	=	87.600
A	=	65,28 cm ²
D	=	7,85 gr/cm ³
t	=	432 jam

$$CR = 87.600 \times (206,668 - 206,667) \times 65,28 \times 432 \times 7,85$$

$$CR = 87.600 \times (0.001) \times 65,28 \times 432 \times 7,85$$

$$CR = 87,6221.377,536$$

$$CR = 0,0003957041061 \text{ mm/y}$$

Didapatkan hasil uji laju korosi pada spesimen A2 baja dengan jenis yang sama A572 menggunakan rendaman air hujan dengan waktu perendaman 432 jam adalah 0,0003957041061 mm/y.

c. Air laut (B1)

Diketahui:

m1	=	225,271 gram
m2	=	225,266 gram
K	=	87.600
A	=	70 cm ²
D	=	7,85 gr/cm ³
t	=	432 jam

$$CR = 87.600 \times (225,271 - 225,266) \times 70 \times 7,85 \times 432$$

$$CR = 87.600 \times (0.005) \times 70 \times 432 \times 7,85$$

$$CR = 438237.384$$

$$CR = 0,00184511172 \text{ mm/y}$$

Didapatkan hasil uji laju korosi pada spesimen B1 baja A572 menggunakan rendaman air laut dengan waktu perendaman 432 jam adalah 0,00184511172 mm/y.

d. Air laut (B2)

Diketahui:

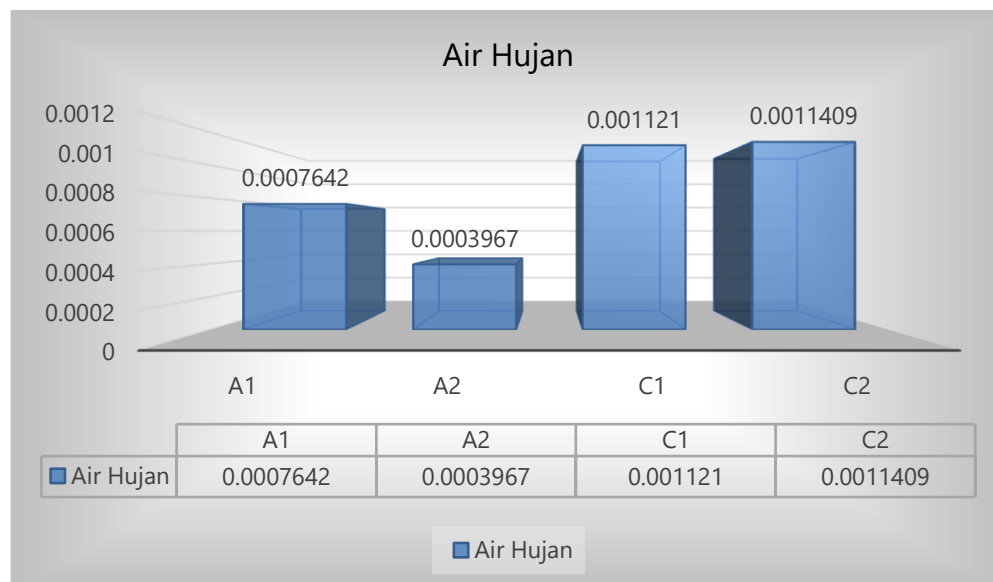
m1	=	206,669 gram
----	---	--------------

$$\begin{aligned} m_2 &= 206,664 \text{ gram} \\ K &= 87.600 \\ A &= 65,28 \text{ cm}^2 \\ D &= 7,85 \text{ gr/cm}^3 \\ t &= 432 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CR &= 87.600 \times (206,669 - 206,664) / 65,28 \times 7,85 \times 432 \\ CR &= 87.600 \times 0,00565,28 \times 432 \times 7,85 \\ CR &= 438213.763,2768 \\ CR &= 0,00204899554 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

Didapatkan hasil uji laju korosi pada spesimen B2 baja A572 menggunakan rendaman air laut dengan waktu perendaman 432 jam adalah 0,00204899554mm/y.

Gambar 4. 2
Garfik Nilai Uji Laju Korosi



Pada gambar di atas menunjukkan grafik yang menyajikan data hasil pengujian korosi untuk dua jenis spesimen yaitu baja karbon rendah A36 dan A572, dengan media uji yaitu air hujan, pada satu durasi waktu perendaman yang sama yaitu 432 jam. Untuk setiap durasi waktu, larutan air hujan menunjukkan laju korosi lebih rendah dibandingkan air laut. Spesimen baja A572 yang direndam dengan air hujan memiliki rata - rata laju korosi 0,0005799757 mm/y, sedangkan spesimen baja A36 yang direndam dengan air hujan memiliki rata - rata mencapai 0,001131065885 mm/y.

4.4 Uji Kekerasan Pelat Baja A36 dan Pelat A572

Pelat Baja A36 dan Pelat A572 diuji menggunakan metode jenis uji HRC (Hardness Rockwell Skala - C).

Gambar 4. 3
Alat uji kekerasan rockwell



1. HRC (*Hardness Rockwell C*)

HRC adalah salah satu skala dalam pengujian kekerasan *Rockwell*, khususnya untuk material logam keras seperti baja karbon tinggi, baja perkakas, dan paduan logam lainnya. Pengujian kekerasan *Rockwell* adalah metode untuk mengukur kekerasan suatu material berdasarkan kedalaman penetrasi indentor (alat penekan) ke dalam permukaan bahan.

a. Pengujian HRC

Pengujian HRC dilakukan dengan:

1. Menekan sebuah indentor berbentuk kerucut intan (*diamond cone* 120°) ke permukaan logam.
2. Menggunakan beban total 150 kgf (kilogram-force).
3. Nilai kekerasan ditentukan dari kedalaman penetrasi indentor: semakin dangkal lekukan, semakin tinggi nilai HRC.

b. Skala HRC

1. Nilai HRC berkisar dari 0 (sangat lunak) sampai 70 (sangat keras).
2. Material keras seperti baja perkakas setelah *heat treatment* biasanya memiliki HRC antara 55-66.
3. Material lunak seperti aluminium tidak diuji dengan skala HRC, melainkan menggunakan skala lain seperti HRB (Rockwell B).

c. Nilai HRC

Nilai HRC berkisar dari 0 (sangat lunak) sampai 70 (sangat keras), material keras seperti baja perkakas setelah *heat treatment* biasanya memiliki HRC antara 55-66. Material lunak seperti aluminium tidak diuji dengan skala HRC, melainkan menggunakan skala lain seperti HRB (*Rockwell B*).

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis mengenai Analisis proses laju korosi pelat *tank top* pada kapal *bulk carrier* MV Trifosa di Galanagn Janata Marina Indah Semarang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan laju korosi baja A36 dan A572 pada sampel spesimen *tank top* kapal ketika direndam dengan air laut dan air hujan. Baja A36 yang direndam dengan air laut mengalami laju korosi yang lebih

tinggi daripada baja A36 yang direndam dengan air hujan, begitu juga dengan baja A572 grade 50 yang direndam dengan air laut mengalami laju korosi yang lebih tinggi daripada baja A572 grade 50 yang direndam dengan air hujan pada setiap durasi perendaman, dengan nilai laju korosi yang meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman, dari kesimpulan ini maka laju korosi yang diteliti menunjukkan kategori *excellent*, karena seiring berjalanya waktu laju korosi akan terus meningkat dengan mengesampingkan cat pelindung maupun jenis baja itu sendiri.

2. Kekerasan pelat memiliki korelasi langsung dengan ketahanan korosi. Baja A572 yang lebih keras dan stabil secara mikrostruktur memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada baja A36 yang lebih lunak. Penurunan kekerasan pada baja A36 akibat pengelasan menciptakan area yang lebih rentan, yang menjadi titik awal degradasi korosi. Oleh karena itu, pemilihan material dengan kekerasan yang lebih tinggi seperti A572 sangat penting untuk aplikasi di lingkungan korosif, karena baja tersebut lebih mampu mempertahankan sifat mekanis dan ketahanan korosinya. Akan tetapi tingkat luluh dari baja A572 yang tinggi dari baja A36 membuat baja A36 lebih sering digunakan dalam konstruksi perkapalan.

6 Saran

Berdasarkan dari analisis dan seluruh proses yang telah dilakukan penulis dalam melakukan Analisis proses laju korosi pelat *tank top* pada kapal *bulk carrier* MV Trifosa di Galanagn Janata Marina Indah Semarang. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan analisis proses laju korosi pelat *tank top*, yaitu :

1. Lakukan perawatan dan inspeksi secara berkala, pemilihan cat yang sesuai dengan standar BKI menentukan ketahanan pelat dalam lingkungan korosif. Serta gunakan bahan tahan karat dan pelapisan untuk mencegah korosi sistem.
2. Gunakan baja karbon rendah dengan ketebalan yang sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan oleh BKI.

Saran yang dapat diberikan penulis guna mencegah dan mengatasi kerusakan yaitu, fokus pada pemeriksaan rutin, perbaikan berkala, pelindung struktur permukaan pelat, dan pemilihan material yang tepat. Kolaborasi antara bagian *maintenance*, *engineering*, dan *safety* sangat penting dalam penerapannya.

Referensi

- Afandhi, M. R., & Basuki, M. (2022). Analisis Teknis Dan Ekonomis Perbedaan Kuat Arus Pada Proses Pemotongan Pelat Menggunakan Cnc Plasma Cutting. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMITAN)*, 1(1), 214-220.
- Afandi, Y, K., Arief, I, S., Amiadji. (2024). Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 12, No. 2 April 2024, Vol. 4, No.1, 1-9.
- Aji Maulana, H., Syahrir, I., & Sulistyono, S. T. (2015). Analisa Kecepatan Laju Korosi Pada Plat Tank Top (*Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surabaya*).
- Alan, S.S. P. (2024) Analisis Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Rendah Pada Lambung Kapal Menggunakan Larutan Nacl Dan H2SO4. *Skripsi, Universitas Maritim Amni 2024*.



- Ali, M. S., Praktikno, H., & Dhanistha, W. L. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting Dengan Coating Campuran Epoxy dan Aluminium Serbuk terhadap Kekuatan Adhesi, Prediksi Laju Korosi, dan Morfologi pada Plat Baja ASTM A36. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), G64-G70
- BKI. (2022). Rules for Building and Classing Seagoing Ships, Vol. II - Seagoing Ship Safety Construction.
- Hutauruk, F. Y. (2017). Analisa Laju Korosi pada Pipa Baja Karbon dan Pipa Galvanis dengan Metode Elektrokimia. *Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya*.
- IMSBC, C. (2013). International maritime solid bulk cargoes code. *Int. Marit. Organ*.
- Irwan, I. (2024). Strategi Pengendalian Untuk Meminimalisasi Dampak Korosi. *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, 22(02), 145-149.
- Khoir, J. A., Budiarto, U., & Mursid, O. (2022). Analisa Pengaruh Penerapan Coating dan Variasi Ukuran Grit Aluminium Oxide pada Proses Blasting Terhadap Ketahanan Laju Korosi dan Daya Rekat Adhesi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(1), 31-41.
- Muhammad Sulton Ali, H. P. (2019). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Blasting dengan Coating Campuran Epoxy dan Alumunium Serbuk terhadap Kekuatan Adhesi, Prediksi Laju Korosi, dan Morfologi pada Plat Baja ASTM A36. *Jurnal Teknik ITS Vol. 8, No. 1, (2019) ISSN: 2337-3539*, 64-70.
- Nurochman, A., Mulyatno, I. P., & Yudo, H. (2021). Analisa Kekuatan Konstruksi Tank Top Akibat Perpindahan Posisi Dari Generator Set Pada Kapal Accomodation Work Barge (Awb) 5640 Dwt Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(4).
- P.Bayuseno, A. (2021). Juli200932 Analisa Laju Korosi Pada Baja Untuk Material Kapal Dengan Dantanpa Perlindungan Cat. *ROTASI - Volume 11 Nomor 3 - Juli 2009*, Vol. 11, 32-37.
- Pattireuw, K. J., Rauf, F. A., & Lumintang, R. C. A. (2013). Analisis laju korosi pada baja karbon dengan Menggunakan air laut dan H2SO4. *Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT*, 2(1)
- Prayitno, Y. H., Amiruddin, W., & Rindo, G. (2024). Perancangan Kapal Bulk Carrier 21600 DWT Untuk Rute Pelayaran Makassar-Guangzhou. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(2).
- Putria, F. D., & Ayuba, F. A. (2020) Efek Likuefaksi Nickel Ore pada Stabilitas dan Olah Gerak Kapal MV. Nur Allya. *Journal Applied Science and Technology on Naval Engineering*.
- Rachman, R., Almahdi, A., & Yuhas, D. (2021). Kajian Pengaruh Jenis Material Terhadap Kualitas Ukuran Pada Proses Penekukan Pelat Dengan Metoda Anova. *Jurnal Poli-Teknologi*, 20(3), 180-187.