

Analisis Kegagalan Material Aluminium 5052 sebagai Aplikasi Bahan Lambung Kapal Terhadap Pengaruh Salinitas Air Laut

Imah Luluk Kusminah^{1✉}, Dianita Wardani², Lely Pramesty³, Richo Oktavian Indarto⁴

^{1,2,3} Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

⁴ Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 10-11-2022

Direvisi : 28-11-2022

Diterima : 04-12-2022

Kata Kunci:

aluminium, korosi,
lambung kapal, salinitas,
weight loss.

Keywords :

*aluminum, corrosion, hull,
salinity, weight loss.*

ABSTRAK

Sebagai negara kepulauan, maka untuk menghubungkan antar pulau di Indonesia peranan transportasi kapal laut sangat penting. Dalam perencanaan konstruksi kapal, material lambung kapal menjadi faktor penting karena sering terjadi korosi. Korosi adalah kerusakan material akibat adanya reaksi kimia. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Secara kuantitatif material aluminium dihitung kehilangan berat sesuai dengan ASTM G31-72, kemudian melakukan perhitungan laju korosi dan menganalisa faktor yang mempengaruhi laju korosi dengan pengujian XRD. Dari hasil pengujian *weight loss*, laju korosi terbesar terjadi pada material yang terletak pada kondisi salinitas 3,6% NaCl sebesar 12,18 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan. Konsentrasi larutan NaCl yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak ion klorida di sekitar logam, menyebabkan desensitisasi permukaan logam. Dari hasil analisa XRD menunjukkan terdapat senyawa 2NaAlO_2 dan Al_2O_3 pada intensitas *peak* tertinggi. Data tersebut menunjukkan terbentuknya senyawa yang melekat dengan permukaan aluminium yang terekspos dalam larutan klorida, yang berfungsi melindungi logam dari korosi.

ABSTRACT

As an archipelagic country, ship transportation is very important to connect between islands in Indonesia. In ship construction, ship hull material is an important factor because corrosion often occurs. Corrosion is material damage due to chemical reactions. This research is using experimental method. Quantitatively, aluminum material was calculated to lose weight in accordance with ASTM G31-72, then calculate the corrosion rate and analyze factors that affect the corrosion rate by XRD testing. From the results of the weight loss test, the greatest corrosion rate 12.18 mpy occurred in the material which located at 3.6% salinity for 1 month. A higher concentration of NaCl generates more chloride ions around the metal, causing desensitization. The results of the XRD analysis showed that 2NaAlO_2 and Al_2O_3 compounds at the highest peak intensity. Its indicate that the compound attached to the exposed aluminum surface in a chloride solution to protect the metal from corrosion.

Corresponding Author :

Imah Luluk Kusminah

Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jl. Teknik Kimia, ITS Surabaya, Kec. Sukolilo, Surabaya

Email: imahluluk@ppns.ac.id

PENDAHULUAN

Sebagai Negara maritim, Indonesia memiliki 17.508 pulau tersebar diseluruh wilayah, dengan total luas daratan 1,937 juta km², dimana tiga perempatnya terdiri dari lautan dengan total luasnya sekitar 5,8 juta km². Dalam situasi ini, peran angkutan laut dalam kehidupan sehari-hari sangat dibutuhkan. Hal ini juga disampaikan dalam kajian pentingnya transportasi laut dalam penelitian Imam Pujo, 2021 berdasarkan pada letak geografis Indonesia. Hal ini tentunya menempatkan transportasi laut Indonesia dalam konteks penting karena Indonesia terletak di kawasan tersebut (Shafira Nabila Siregar, Imam Pujo Mulyatno, 2021). Transportasi laut menghubungkan pulau-pulau di Indonesia, menciptakan pergerakan orang dan barang melalui laut/air dan menopang perekonomian. Kapal adalah jenis transportasi laut yang kita kenal. Kapal adalah alat transportasi yang mengangkut orang dan barang melalui laut (sungai, dll). Secara struktural dan fungsional, lambung kapal yang merupakan bagian pertama yang bersentuhan dengan air laut merupakan bagian material yang penting. Kapal kecil dan kapal patroli menggunakan aluminium sebagai bahan lambungnya. Aluminium dan paduan aluminium adalah logam ringan dengan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap karat. Karat dihasilkan karena adanya interaksi kimia material kapal dengan zat yang terkandung di air laut. Korosi air laut adalah salah satu penyebab utama kerusakan atas lambung kapal. Air laut berbagi konstituen dan sifat korosifnya, seperti ion klorida, konduktivitas listrik, oksigen, laju aliran, suhu, tegangan, dan polusi (Fontana, 1987). Kerugian teknis akibat korosi lambung adalah berkurangnya kecepatan kapal, berkurangnya umur lelah, berkurangnya kekuatan tarik dan sifat mekanik material lambung kapal lainnya (Satria Nova M.K., 2012). Aluminium adalah logam dengan kerapatan relatif rendah dengan kerapatan 2,7 g/cm³, termasuk golongan IIIA tabel periodik, memiliki nomor atom 13, memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, dan tahan terhadap korosi di berbagai lingkungan. Aluminium adalah logam reaktif termodinamika dan merupakan logam ringan dengan sifat logam yang sangat baik seperti ketahanan terhadap korosi dan konduktivitas listrik. Karena adanya bahan paduan seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dll., Kekuatan mekaniknya sangat meningkat, sehingga sifat unggul lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien muai yang rendah juga diperoleh. Logam ini digunakan tidak hanya pada peralatan rumah tangga, tetapi juga pada berbagai bidang (Setyaji, 2012). Ketahanan korosi logam ini diperoleh dengan membentuk lapisan aluminium oksida pada permukaan material. Lapisan oksida ini melekat dengan permukaan dan sangat stabil (tidak bereaksi terhadap lingkungan), sehingga memberikan perlindungan perimeter dan mendalam. Adanya lapisan oksida ini berarti bahan tersebut sangat tahan terhadap korosi, membuat aluminium sulit untuk diproses (Setyaji, 2012). Karena aluminium merupakan salah satu logam yang sangat baik sifat ketahanan korosinya, sebagai logam komersial, logam ini dapat membentuk lapisan oksida penghalang pada permukaannya. Uniknya, lapisan ini dapat terbentuk kembali jika rusak. Pada permukaan aluminium yang aus dan terbuka, lapisan oksida penahan yang terbentuk dari reaksi dengan bahan kimia sekitarnya hanya setebal 1 nm, tetapi sangat efektif melindungi logam dari korosi (Rohadi Satrio Budi Utomo, 2017).

Korosi adalah hasil dari proses elektrokimia yang menyebabkan kegagalan fungsi material karena pengaruh lingkungan. Lingkungan yang berpengaruh disebabkan oleh beberapa faktor seperti lingkungan asam, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah (Surip Prasetyo, Untung Budiarto, 2019). Korosi adalah kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi dengan lingkungan. Reaksi yang terbentuk antara bahan dan lingkungan menghasilkan oksida logam, sulfida logam, atau produk reaksi lainnya. Dalam reaksi ini, sebagian logam hilang, menghasilkan senyawa yang lebih stabil. Proses korosi pada lingkungan air laut dapat dipicu oleh beberapa faktor seperti pH, suhu dan salinitas air laut. Korosi dapat disebabkan oleh proses desain atau desain dan komposisi yang buruk dari bahan yang dipilih, sehingga sifat atau karakteristik yang dicapai tidak memenuhi persyaratan standar. Korosi yang terjadi pada lingkungan air asin umumnya disebabkan oleh faktor-faktor seperti kadar gas air laut (*aerosol*), hujan, kondensasi, kondensasi, serta kadar air dan ketahanan. Berdasarkan beberapa penelitian, lingkungan air laut mengandung ion klorida (*chloride ions*), penguapan (kelembaban) yang tinggi, kombinasi unsur atau zat yang terkandung dalam air laut, dan kandungan oksigen yang tinggi

juga terbukti memperparah korosi yang terjadi. dalam air laut. Korosi di lingkungan air laut sangat dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti, ion klorida (Cl^-) dan ion sulfat (SO_4^{2-}). Ion klorida dapat merusak lapisan pasivasi yang mencegah korosi. Mekanisme ini dapat menyebabkan korosi pitting, dimana lapisan pasif atau pelindung yang terbentuk pada material dihancurkan, memberikan jalur bagi ion H^+ ke logam dasar yang tidak terlindungi. Ion klorida dikenal sebagai ion yang memiliki efek destruktif pada zat utama. Hal ini karena ion-ion tersebut dapat teradsorpsi ke permukaan logam dan mengganggu pembentukan lapisan pasivasi. Korosi lubang adalah salah satu jenis serangan utama yang disebabkan oleh adanya ion klorida. Ketika korosi terjadi, hidrolisis anodik logam menurunkan pH, menghambat pembentukan film pasif, dan mempercepat serangan ion klorida. Baja karbon adalah contoh material yang terkorosi dalam air yang diklorinasi (Toppo, 2022).

Salinitas adalah istilah untuk salinitas atau kadar garam pada air laut. Air laut terdiri dari 89% garam klorida dan 11% unsur lainnya. Salinitas sering diartikan sebagai jumlah total zat terlarut (dinyatakan dalam gram) dalam 1 kg air laut. Faktor-faktor yang mempengaruhi salinitas antara lain penguapan, curah hujan, dan banyaknya sungai yang mengalir ke laut.. Salinitas air laut di semua badan air di dunia berkisar antara 32 hingga 37 ‰, dengan median 34,7 ‰, tetapi dapat mencapai 40 ‰ di Laut Merah. Salinitas air laut tertinggi berada di dekat khatulistiwa dan terendah di kutub. Salinitas biasanya dinyatakan dalam satuan ‰ (gram per liter per mil). Salinitas sering disebut sebagai salinitas air laut, atau NaCl. Kandungan klorida memicu proses desensitisasi dan korosi terus terjadi. Konsentrasi larutan NaCl yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak ion klorida di sekitar logam, mencegah pembentukan lapisan pelindung yang menyebabkan desensitisasi permukaan logam. Semakin tinggi nilai konsentrasi NaCl dalam larutan aerasi, semakin rendah kelarutan oksigen dalam larutan tersebut. Seperti yang telah disebutkan, konsentrasi NaCl yang lebih tinggi menyebabkan konduktivitas listrik yang lebih tinggi dan laju korosi yang lebih cepat (Jones & Denny, 1992).

Walaupun beberapa penelitian sebelumnya kurang fokus membahas terjadinya korosi pada material aluminium di bawah pengaruh lingkungan air laut, hal ini telah menggugah minat penulis untuk diteliti lebih dalam. Penelitian sebelumnya menguji laju korosi material logam aluminium 5058 dan menunjukkan bahwa semakin lama material direndam dalam lingkungan air laut, semakin lambat laju korosinya (Choirul Huda, 2017). Berdasarkan hasil penelitian di atas, penelitian ini menganalisis pengaruh aplikasi bahan aluminium sebagai bahan lambung kapal terhadap pengaruh kandungan air laut. Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah pengaruh konsentrasi garam atau klorida dan lama waktu pengujian bahan aluminium sebagai bahan lambung kapal dan berapa laju korosi yang terjadi pada bahan aluminium sebagai bahan lambung kapal. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh salinitas dan lama waktu pengujian terhadap kekuatan dan ketahanan korosi material aluminium sebagai material lambung kapal. Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk memperoleh hasil analisis kegagalan material aluminium terhadap pengaruh salinitas dan lama pengujian yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah prosedur penelitian yang didasarkan pada tujuan penelitian dan memiliki kriteria uji tertentu. Penelitian (*research*) adalah rangkaian kegiatan ilmiah untuk pemecahan masalah yang berfungsi memberikan gambaran dan jawaban atas masalah yang terjadi serta menyarankan metode alternatif yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah tersebut. Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan. Bahan yang digunakan antara lain Aluminium, NaCl, dan aquades, serta menggunakan alat-alat antara lain gelas ukur, timbangan digital, kontainer plastik, dan temperatur tembak.

Material aluminium dipotong dengan ukuran 60 x 15 mm sebanyak 15 spesimen, kemudian dilakukan pengukuran berat awal. Material aluminium diletakkan pada masing-masing kondisi salinitas yaitu 3,2% NaCl, 3,4% NaCl dan 3,6% NaCl. Data seperti pH, suhu, dan berat bahan aluminium dikumpulkan setiap hari selama satu bulan. Penelitian ini menggunakan beberapa pengujian antara lain yaitu uji *weight loss* dan pengujian XRD. Perhitungan pengujian *weightloss* dengan menggunakan data hasil pengukuran berat material awal dan akhir proses pengkorosian

kemudian dimasukkan rumus sesuai dengan standar ASTM G31-72 (ASM International, n.d.). Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan alat XRD dengan sampel berbentuk padatan dengan dimensi 10x10x5 mm. Pada tahap akhir, hasil analisis yang dilakukan menghasilkan kesimpulan tentang penyebab kerusakan lambung kapal di lingkungan air laut, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan aluminium 5052 digunakan pada penelitian ini yang dikondisikan pada tiga lingkungan yang berbeda yaitu dengan salinitas 3,2 % NaCl, 3,4 % NaCl dan 3,6% NaCl. Setelah proses korosi selesai dilakukan uji XRD dan uji *weight loss* untuk mengetahui hasil laju korosinya. Pengujian dilakukan dengan kondisi lingkungan seperti paparan tabel berikut.

Tabel 1. Kondisi Awal dan Akhir Pengujian

Salinitas	pH Awal	pH Akhir	Temperatur
3,2	7	7	33,1
3,4	7	6	33,7
3,6	7	6	33,7

Data Hasil pengujian *weight loss* material Aluminium pada masing-masing kondisi salinitas yang berbeda yaitu 3,2%, 3,4 % dan 3,6% selama 1 bulan dapat diamati perbedaannya pada tabel 1.2.

Tabel 2. Data Hasil Uji *Weight Loss*

Tipe Material	Initial Weight (gr)	Final Weight (gr)	Weight Loss (gr)	CR (mpy)
A 1	156,42	156,05	0,37	9,8
A.2	156,80	156,35	0,45	11,92
A 3	156,55	156,09	0,46	12,18

Data diatas adalah hasil pengujian *weight loss* didapatkan bahwa laju korosi terbesar terjadi dengan material yang terletak pada kondisi salinitas yang besar yaitu 3,6% NaCl sebesar 12,18 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan, pada kondisi salinitas 3,2 % NaCl sebesar 9,8 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan, dan pada kondisi salinitas 3,4 % NaCl sebesar 11,92 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan. Berikut ini adalah tabel hasil pengujian *Weigh Loss* material Aluminium pada kondisi salinitas 3,2% dengan variasi waktu yang berbeda yaitu 24 jam, 96 jam, 264 jam, 336 jam, dan 648 jam selama 1 bulan.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Weight Loss* Salinitas 3,2%

Tipe Material	Variasi Waktu (jam)	Initial Weight (gr)	Final Weight (gr)	Weight Loss (gr)	CR (mpy)
A 1.1	24	156,42	156,41	0,01	7,15
A.1.2	96	156,42	156,35	0,07	12,52
A 1.3	264	156,42	156,24	0,18	11,70
A 1.4	336	156,42	156,20	0,22	11,20
A 1.5	648	156,42	156,05	0,37	9,8

Berikut ini adalah tabel hasil pengujian *weigh loss* material Aluminium pada kondisi salinitas 3,4% dengan variasi waktu yang berbeda selama 1 bulan.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Weight Loss* Salinitas 3,4%

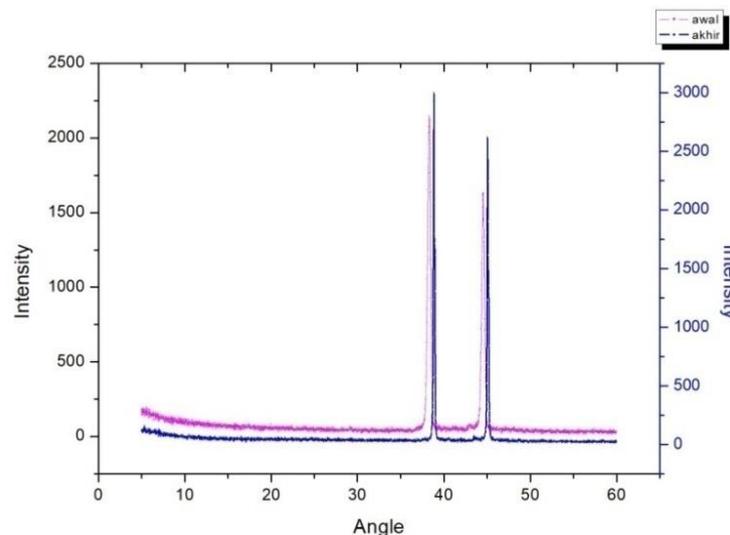
Tipe Material	Variasi Waktu (jam)	Initial Weight (gr)	Final Weight (gr)	Weight Loss (gr)	CR (mpy)
A 2.1	24	156,80	156,79	0,01	7,15
A.2.2	96	156,80	156,71	0,09	16,09
A 2.3	264	156,80	156,57	0,23	14,95
A 2.4	336	156,80	156,50	0,30	15,32
A 2.5	648	156,80	156,35	0,45	11,92

Berikut ini adalah tabel hasil pengujian *weigh loss* material Aluminium pada kondisi salinitas 3,6% dengan variasi waktu yang berbeda selama 1 bulan.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Weight Loss* Salinitas 3,6%

Tipe Material	Variasi Waktu (jam)	Initial Weight (gr)	Final Weight (gr)	Weight Loss (gr)	CR (mpy)
A 3.1	24	156,55	156,53	0,02	14,30
A.3.2	96	156,55	156,46	0,09	19,09
A 3.3	264	156,55	156,27	0,28	18,20
A 3.4	336	156,55	156,20	0,35	17,88
A 3.5	648	156,55	156,09	0,46	12,18

Dari tabel diatas mempresentasikan perbedaan laju korosi setiap spesimen di media air laut dengan salinitas 3,6% selama perendaman 24 sampai 264 jam mengalami peningkatan laju korosi yaitu 14,3 mpy sampai 18,20 mpy. Namun kemudian mengalami penurunan selama waktu perendaman selama 336-648 jam, laju korosi yang terjadi menjadi 17,88-12,18 mpy. Hal ini sesuai dengan teori bahwa korosi pada aluminium cukup sulit karena material akan membentuk lapisan alumina. Pada penelitian ini juga membuktikan bahwa lama perendalaman mempengaruhi laju korosi yang terjadi (Jatmiko et al., 2015). Untuk membuktikan hal tersebut maka di lakukan uji XRD untuk memngetahui senyawa yang terbentuk. Berikut ini adalah grafik hasil uji XRD yang telah dilakukan pada spesimen awal dan akhir pengujian.



Gambar 1. Hasil Pengujian XRD Material Aluminium Awal dan Akhir Proses Korosi

Gambar grafik diatas memperlihatkan pergeseran intensitas (cts) *peak* tertinggi dari material yang diuji dimana telah diringkas dan dibedakan pada tabel 1.6.

Tabel 6. Data *Peak* Tertinggi Uji XRD

Ikatan atau Senyawa	Pos. [°2Th.]		cts	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir
Al ₂ O ₃ , 2NaAlO ₂	38.8381	38.3124	2917.20	2077.64
C, Al ₂ O ₃	45.0497	44.5044	2445.54	1538.10
C		64.8082		516.48
Al ₂ O ₃ ,C		77.9103		825.82
Al ₂ O ₃		82.0479		112.59

Tabel diatas menunjukkan hasil *peak* tertinggi dan besar sudut teta dari XRD material awal dan akhir pengujian. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, pada *peak* tertinggi yaitu

2917,20 cts untuk spesimen awal dan 2077,64 cts untuk spesimen akhir menunjukkan bahwa terdapat senyawa Al_2O_3 dan $2NaAlO_2$ pada intensitas tersebut. Data hasil pengujian XRD selaras dengan data hasil uji laju korosi bahwa laju korosi yang terjadi mengalami penurunan karena kemungkinan terbentuknya senyawa tersebut yang melekat dengan permukaan aluminium yang terekspos dalam larutan klorida, dimana lapisan penghalang yang terbentuk efektif untuk melindungi logam dari korosi (Rohadi Satrio Budi Utomo, 2017). Hal ini di buktikan dengan ditemukannya senyawa yang sama pada *peak* tertinggi hasil uji akhir spesimen pada 2445,54 cts pada sudut 45 derajat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan dari analisa data hasil pengujian ini adalah laju korosi terbesar terjadi dengan material yang terletak pada kondisi salinitas yang besar yaitu 3,6% NaCl sebesar 12,18 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan, pada kondisi salinitas 3,2 % NaCl sebesar 9,8 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan, dan pada kondisi salinitas 3,4 % NaCl sebesar 11,92 mpy dengan waktu perendaman selama 1 bulan. Dari hasil analisa XRD yang telah dilakukan, pada *peak* tertinggi yaitu 2917,20 cts untuk spesimen awal dan 2077,64 untuk spesimen akhir menunjukkan bahwa terdapat senyawa Al_2O_3 dan $2NaAlO_2$ pada intensitas tersebut, yang mana selaras dengan data hasil uji sebelumnya bahwa laju korosi yang terjadi mengalami penurunan karena kemungkinan terbentuknya senyawa tersebut.

Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut maka selanjutnya diberikan saran untuk menambah pengaruh variabel lain pada penelitian lebih lanjut terhadap bahan aluminium 5052.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Pelaksana Penelitian menyampaikan terima kasih telah diberikan support yang besar kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Tahun Anggaran 2022 yang telah memberikan dana penelitian serta Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) terkait segala dukungannya yang karenanya seluruh rangkaian kegiatan ilmiah ini dapat terselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- ASM International. (n.d.). *Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special - Purpose Materials*. 2.
- Huda, C., & Sutjahjo, D. H. (2017). Analisis Laju Korosi Material Aluminium 5083 Sebagai Aplikasi Bahan Lambung Kapal. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 6(02), 17-24.
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*.
- Jatmiko, D. T., Nurdin, I., & Devianto, H. (2015). Ketahanan Korosi Paduan Al-Mg 5052 Di Dalam Air Pendingin Netral Mengandung Klorida. *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 21(2).
- Jones, D. A., & Denny, A. (1992). *Principles and Prevention of Corrosion*.
- Rohadi Satrio Budi Utomo, S. A. (2017). Studi dan Karakterisasi Laju Korosi Logam Aluminium. *Jurnal Teknik Mesin*, 6, 2-9.
- MK, S. N., & Misbah, M. N. (2012). Analisis Pengaruh Salinitas dan Suhu Air Laut Terhadap Laju Korosi Baja A36 pada Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G75-G77.
- Setyaji, E. F., & Sulardjaka, S. T. (2012). Pengaruh Temperatur Tuang Stir Casting Terhadap

Densitas, Porositas, Konduktivitas Termal Dan Struktur Mikro Pada Komposit Alumunium Yang Diperkuat Serbuk Besi (Doctoral dissertation, mechanical engineering department, faculty engineering of Diponegoro university).

Shafira Nabila Siregar, Imam Pujo Mulyatno, A. W. B. S. (2021). Analisa Perubahan Desain Interior Kapal Penumpang Dinas Perhubungan DKI Jakarta dengan Metode CORELAP. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(3), 261–267.

Prasetyo, S., Budiarto, U., & Amiruddin, W. (2019). Analisa Laju Korosi Pada Material Aluminium 5083 Menggunakan Media Air Laut Sebagai Aplikasi Bahan Lambung Kapal. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(4).

Toppo, A. (2022). Effect of Metallurgical Variables on the Stress Corrosion Cracking Behavior of AISI-Type 316LN Stainless Steel. In *A Treatise on Corrosion Science, Engineering and Technology* (pp. 99-112). Springer, Singapore.