

STUDI PENGGUNAAN ZINK ANODE UNTUK MENGURANGI LAJU KOROSI DALAM INDUSTRI PERKAPALAN

Sonja T. A. Lekatompessy*

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

*E-mail korespondensi: sonja.lekatompessy@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mengurangi laju korosi pada kapal adalah dengan menggunakan zink anoda. Berat zink anoda memegang peranan penting untuk mengetahui berapa jumlah zink anoda yang harus dipasang pada bagian permukaan basah kapal dalam menahan laju korosi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan perlindungan terhadap laju korosi dengan cara melakukan analisis terhadap data penggunaan zink anoda di lapangan dan data penggunaan zink anoda hasil perhitungan. Untuk mengetahui kemampuan zink anoda yang dipasang maka dibutuhkan data laju korosi 5 tahun terakhir dari 3 buah kapal dan juga jumlah zink anoda yang dipergunakan setiap tahunnya. Hasil yang didapat terlihat bahwa tidak ada penambahan zink anoda pada kapal 1 pada tahun ke-4 ke tahun ke-5 sebesar 64.046 kg, laju korosi tertinggi mencapai 0.1708 mm/tahun, sedangkan pada kapal 2, dengan penambahan berat zink anoda sebanyak 25.704 kg laju korosi menurun pada tahun ke-5 menjadi 0.0317 mm/tahun. Pada kapal 3 tahun ke-4 dengan penambahan berat zink anoda sebanyak 45.868 kg laju korosi menurun mencapai 0.0138 mm/tahun.

Kata Kunci: Zink anoda, laju korosi.

ABSTRACT

One way to reduce the rate of corrosion on ships is to use zinc anodes. The weight of the zinc anode plays an important role in determining how much zinc anode must be installed on the wet surface of the ship to withstand the rate of corrosion. This study aims to obtain protection against corrosion rates by analyzing data on the use of zinc anodes in the field and data on the use of zinc anodes from calculations. To determine the ability of the installed zinc anode, data on the last 5 years of corrosion rates from 3 ships and the amount of zinc anodes used each year are needed. The results obtained show that there was no addition of zinc anodes on ship 1 in the 4th year to the 5th year of 64,046 kg, the highest corrosion rate reached 0.1708 mm/year, while on ship 2, with the addition of zinc anode weight of 25,704 kg the corrosion rate decreased in the 5th year to 0.0317 mm/year. On ship 3 in the 4th year with the addition of zinc anode weight of 45,868 kg the corrosion rate decreased to 0.0138 mm/year.

Keywords: Zinc anoda, corrosion rate

1. PENDAHULUAN

Korosi menimbulkan ancaman yang signifikan terhadap integritas dan keawetan struktur kapal, lepas pantai, dan minyak dan gas, yang mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar, bahaya lingkungan, dan masalah keselamatan. (Imran et al., 2024)

Korosi merupakan salah satu masalah yang sering dijumpai pada penggunaan material logam besi dalam kehidupan sehari-hari baik pada skala rumah tangga maupun industri. Banyak metode untuk menghambat proses korosi pada besi, salah satunya dengan proteksi katodik

dengan metode pengorbanan. Material pengorbanan yang digunakan mengandung energi potensial negatif lebih besar dibandingkan besi. Pada penelitian ini baja AISI 1020 yang akan diproteksi dengan seng sebagai anoda pengorbanan, yang dibantu dengan logam tambahan magnesium AZ31 dan aluminium 8011. Proses pengujian dilakukan dengan metode kehilangan berat, dimana material direndam selama 2 bulan. Hasil penelitian menunjukkan tidak terjadi penurunan berat pada aluminium 8011, baja AISI 1020 dan seng ketika aluminium 8011 ditambahkan pada proteksi ini. Namun terjadi penurunan berat pada magnesium AZ31 ketika magnesium digunakan sebagai logam tambahan (Kusumaningrum & Usman, 2019).

Korosi dapat menimbulkan kerugian material yang cukup besar, sehingga diperlukan proteksi untuk mencegah timbulnya korosi tersebut dengan cara menggunakan katodik. Metoda pengendalian korosi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu metode kinetika dan metoda termodinamika. Dalam metoda kinetika pengendalian korosi dilakukan dengan memberi hambatan pada interaksi dengan lingkungannya sehingga laju korosinya dapat dikurangi, tetapi kecenderungan untuk terjadinya korosi itu sendiri tidak diselesaikan, sehingga apabila hambatan ditiadakan korosi akan segera berlangsung lagi. Penerapan proteksi katodik sering dikombinasikan dengan coating. Tujuannya adalah untuk melindungi baja pada saat coating mengalami kerusakan (Mahendra & Dwisetiono, 2022).

Perlindungan katodik dari struktur logam yang terkubur/terendam dalam media agresif bergantung pada sifat elektrokimia dari anoda korban. Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mengevaluasi kinerja anoda korban yaitu paduan aluminium dan zink. Analisis mikrostruktur anoda aluminium dan seng mengungkapkan pembentukan fase α dan η murni, masing-masing. Namun, dalam Al beberapa endapan terakumulasi di sepanjang batas butir fase α sedangkan pita kembar intragranular dan struktur dendrit yang khas terlihat jelas dalam kasus zink anoda. Kinerja bahan anoda dievaluasi menurut prosedur uji standar (TM0190) seperti yang direkomendasikan oleh NACE. Uji kehilangan massa dan evolusi hidrogen dilakukan untuk menentukan efisiensi arus bahan anoda korban ini di air laut buatan. Efisiensi arus anoda aluminium dan seng dari pengukuran kehilangan massa diukur masing-masing sebesar 93,3 dan 66,6% (Farroq et al., 2019).

Zinc dross adalah limbah industri yang sangat kaya akan zink yang dihasilkan selama galvanisasi baja. Ini adalah produk sampingan dari reaksi antara seng cair dan partikel besi lepas dalam bak seng cair. Umumnya, 10–20% seng galvanis diubah menjadi zinc dross. Karya ini mengusulkan cara unik untuk mendaur ulang dross menjadi bahan sumber daya berkelanjutan bernilai tinggi yang mengarah pada pengembangan anoda korban yang digunakan dalam perlindungan katodik baja. Perilaku elektrokimia dipelajari dalam larutan NaCl 3,5 wt%. Uji kinerja anoda dilakukan sesuai standar DNV-RP-B401 dalam larutan air laut buatan. Parameter kinerja, (potensial sirkuit tertutup (CCP), efisiensi anoda, dan laju konsumsi) dari anoda seng yang dipulihkan dari dross, mendekati anoda seng komersial. Ini memenuhi kriteria anoda yang disyaratkan. Oleh karena itu, anoda seng yang dipulihkan dari dross dapat digunakan sebagai anoda korban untuk perlindungan katodik struktur baja (Chahar et al., 2024).

Laju pengausan berperan penting untuk mengetahui seberapa besar zink Anode dapat memenuhi kebutuhan luas permukaan bawah air pelat lambung untuk mengurangi laju korosi. Untuk mengetahui kemampuan Zink Anode yang dipasang, dibutuhkan data laju korosi dalam 5 tahun terakhir dari 3 kapal dan juga jumlah Zink Anode yang digunakan setiap tahunnya. Dari hasil penelitian ini, laju keausan yang cenderung tetap dan menurun dapat menurunkan laju korosi (Lekatompeppy, 2023).

Efek pengikisan pada permukaan benda yang terkena akan cepat mengalami korosi. Sehingga pemasangan anoda korban pada buritan dipasang agak rapat. Metode yang digunakan untuk mengendalikan laju korosi adalah dengan melindungi plat baja menggunakan proteksi katodik. Oleh karena itu setiap kapal yang dibangun perlu memiliki perencanaan anoda seng untuk mengendalikan laju korosi pada plat baja kapal. Jumlah anoda seng yang dibutuhkan untuk kapal konstruksi baru dengan panjang 72,76 m, lebar 14 m dan tinggi draft 3,30 m adalah sebanyak 55 buah dengan penambahan 30% dari jumlah total pada buritan karena adanya faktor kavitasi. Umur rencana proteksi anoda seng adalah 2,5 tahun dengan tipe s-8 flush mounted

(welded type) memanjang, dimensi (300 mm × 150 mm × 25 mm) dengan berat 8 kg (Muh, et al., 2024).

Cathodic protection (CP) telah berhasil digunakan, dikombinasikan dengan pelapis organik, untuk mencegah lambung kapal dan tangki pemberat dari korosi air laut. Meskipun teknologi CP telah dikembangkan secara signifikan dalam beberapa dekade terakhir, beberapa masalah masih terkait dengan material CP yang diaplikasikan pada lambung kapal dan tangki pemberat. Dalam sistem CP arus impak untuk lambung kapal, anoda bantu merupakan salah satu komponen krusial, yang harus memiliki aktivitas elektrokimia tinggi dan masa pakai yang lama. Anoda korban seperti paduan zinc atau aluminium telah digunakan untuk melindungi tangki pemberat, di mana sifat elektrokimia anoda ini akan menurun akibat paparan berulang terhadap atmosfer dan air laut. Selain itu, baja berkekuatan tinggi sering digunakan untuk komponen struktural kapal berkinerja tinggi (Xu et al., 2021).

Pelapis antifouling diberikan untuk perlindungan korosi baling-baling perunggu di perahu rekreasi, yang dilindungi secara katoda oleh anoda korban. Saat ini, tidak ada standar untuk mengevaluasi ketahanannya terhadap delaminasi katoda. Pekerjaan ini mengembangkan prosedur pengujian khusus menggunakan metode elektrokimia untuk menilai delaminasi katoda pada panel perunggu berlapis. Sampel dengan berbagai formulasi antifouling dikarakterisasi untuk ketahanan terhadap delaminasi katoda dan sifat penghalang, dengan morfologi pelapis dianalisis melalui SEM. Uji delaminasi katoda dievaluasi melalui Polarisasi Potensiodinamik dan Potensiostatik dan Spektroskopi Impedansi Elektrokimia (EIS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi volume pigmen (PVC) dalam primer meningkatkan ketahanan delaminasi dengan membatasi transportasi spesies yang agresif. Menambahkan promotor adhesi silana semakin mengurangi area yang terdelaminasi dan meningkatkan adhesi, meskipun sedikit mengurangi sifat penghalang karena peningkatan penyerapan air. Mengganti lapisan atas yang mengandung grafit dengan lapisan atas berbahan dasar titanium dioksida (putih) secara signifikan meningkatkan sifat penghalang dan ketahanan terhadap pelepasan ikatan katoda. EIS mengonfirmasi bahwa lapisan titanium dioksida menunjukkan impedansi yang lebih tinggi daripada lapisan atas yang kaya grafit, karena tidak adanya daerah konduktif pada lapisan atas berwarna putih (Tubaro et al., 2025).

ZAP (Zink Anode Protection) merupakan salah satu metode untuk mengurangi laju korosi pada kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan proteksi yang optimal terhadap laju korosi dengan menganalisis penggunaan data ZAP di lapangan dan hasil perhitungan data penggunaan ZAP sehingga penggunaan luas permukaan ZAP yang terpasang tepat sesuai kebutuhan akan menurunkan laju korosi. Untuk mengetahui kemampuan ZAP terpasang, dibutuhkan data laju korosi 5 tahun terakhir dari 9 kapal dan juga jumlah anoda korban ZAP yang digunakan setiap tahunnya. Dari grafik hasil perhitungan ZAP sesuai teori dan hasil penggunaan ZAP pada sembilan kapal, diperoleh hasil yang jelas bahwa penambahan luas permukaan ZAP dan kenaikan berat ZAP berpengaruh terhadap penurunan laju korosi pada kapal No.2, No.3, dan No.4, penambahan luas permukaan ZAP berpengaruh terhadap penurunan laju korosi sebesar 0,0138 mm/tahun menjadi 0,0339 mm/tahun. Sedangkan pada kapal No. 1, kapal No. 5, kapal No. 6, kapal No. 7, kapal No. 8 dan kapal No. 9 penambahan luas permukaan dan berat ZAP mempengaruhi laju korosi namun tidak signifikan, laju korosi yang dihasilkan sebesar 0,0371 mm/tahun hingga 0,0735 mm/tahun (Lekatompessy, 2021).

2. BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada 3 kapal ikan yang berbeda dengan material baja dan memiliki ukuran pokok kapal yang berbeda. Jumlah zink anoda yang dipasang pada kapal secara teoritis ditentukan oleh luas permukaan basah kapal, harga tetapan arus untuk permukaan lambung dan sirip kapal baja, jumlah total kuat arus yang dibutuhkan untuk melindungi permukaan basah kapal baja, keluaran arus zink anoda dalam setiap 1 m², sehingga dari 4 komponen ini dapat ditentukan luas total permukaan zink anoda yang dibutuhkan sesuai luas permukaan basah kapal (d disesuaikan dengan ukuran zink anoda yang dijual di pasaran). Untuk mengetahui kemampuan

zink anode yang dipasang, dibutuhkan data laju korosi dalam 5 tahun terakhir dari 3 kapal dan juga jumlah zink anode yang digunakan setiap tahunnya.

Kehilangan berat pelat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 (Trethewey, 1993):

$$W_L = \omega_0 - \omega_1 \quad (1)$$

Di mana:

ω_0 = berat awal

ω_1 = berat akhir

W_L = weight loss

Untuk mendapatkan persentase weight loss dapat dilihat pada persamaan 2 (Trethewey, 1993):

$$W (\%) = 100(1 - \omega_0 / \omega_1) \quad (2)$$

Di mana:

ω_0 = initial weight

ω_1 = final weight

W = Weight loss (%)

Untuk mendapatkan laju korosi menggunakan persamaan 3 berikut ini (Trethewey, 1993):

$$C_R = 87,6 \times \left(\frac{W}{DAT} \right) \text{ (mm/tahun)} \quad (3)$$

Di mana: W = massa yang hilang akibat terkorosi (mg);

D = rapat massa (gr/cm^3)
= 7.8 mgr/m^3 atau 490 lb/ft^3 ;

A = luas permukaan (in^2);

T = lama pengujian (hari).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat zink anoda secara teori dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2, dan tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 1. Berat Zink Anoda Sebelum Terpakai (kg)

No.	Berat Zink Anoda Sebelum Terpakai (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	208.488	197.064	208.488	197.064	197.064
2	295.596	321.300	295.596	321.300	295.596
3	217.056	217.056	239.904	262.752	262.752

Tabel 2. Berat Total Zink Anoda Tersisa

No.	Berat Total Zink Anoda Tersisa per Tahun (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	132.911	133.018	132.911	133.018	133.018
2	135.646	135.646	135.646	135.660	135.660
3	117.753	117.753	117.753	117.581	117.581

Keterangan:

Berat total zink anoda tersisa setelah 1 tahun periode docking berlalu tahun pertama

Tabel 3. Berat Total Zink Anoda Tersisa

No.	Berat Total Zink Anoda Tersisa (kg)				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	75.577	64.046	75.577	64.046	64.046
2	159.950	185.654	159.950	185.640	185.640
3	99.303	99.303	122.351	145.171	145.171

Keterangan :

Berat zink anoda tersisa didapat dari pengurangan Zink Anoda sebelum terpakai (Tabel 1) dengan Zink Anoda terpakai (Tabel 2)

Tabel 4. Laju Korosi Pada Kapal

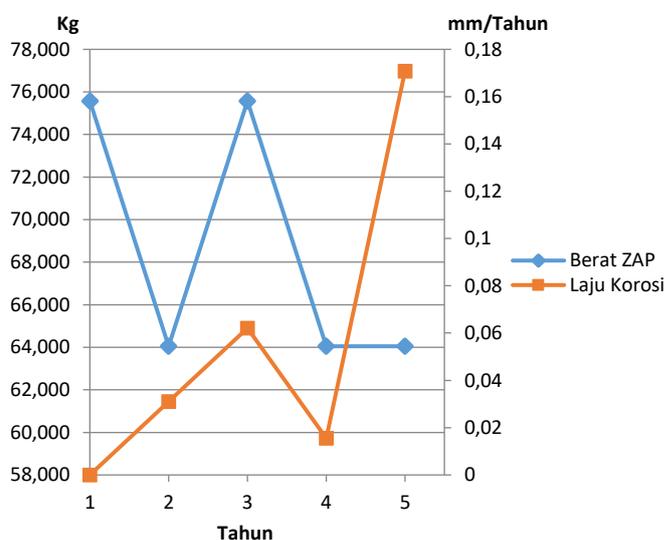
Vessel	Year	LAJU KOROSI (mm/tahun)				
	1	2	3	4	5	
1	-	0.0310	0.0621	0.0155	0.1708	
2	-	0.4433	0.0633	0.0317	0.0317	
3	-	0.2063	0.11	0.0275	0.0138	

Keterangan:

Laju korosi pada tahun pertama tidak mempunyai nilai karena merupakan titik awal yang mana laju korosi diambil dari *weight loss* setelah satu tahun periode docking berlalu.

Analisis dilakukan pada 3 kapal yang ditinjau, akan ditampilkan dalam grafik hubungan korelasi yang terjadi antara berat zink anoda hubungannya dengan laju korosi.

a. Kapal 1

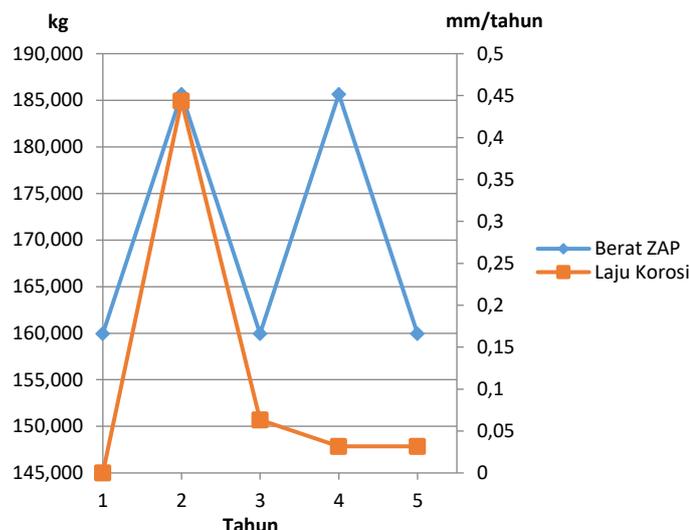


Gambar 1. Grafik Korelasi Berat Zink Anoda dan Laju Korosi pada Kapal 1

Berat zink anoda yang belum terpakai atau terpasang pada kapal ini tidak terjadi penambahan berat pada tahun ke-5 dan tahun ke-4 beratnya sama sebesar 64.046 kg terlihat dalam tabel 3, berat zink anoda yang kurang menunjukkan bahwa hal ini mengurangi kemampuan perlindungan terhadap laju korosi. Dalam gambar 1 terlihat bahwa laju korosi terbesar mencapai 0.1708 mm/tahun pada tahun ke-5.

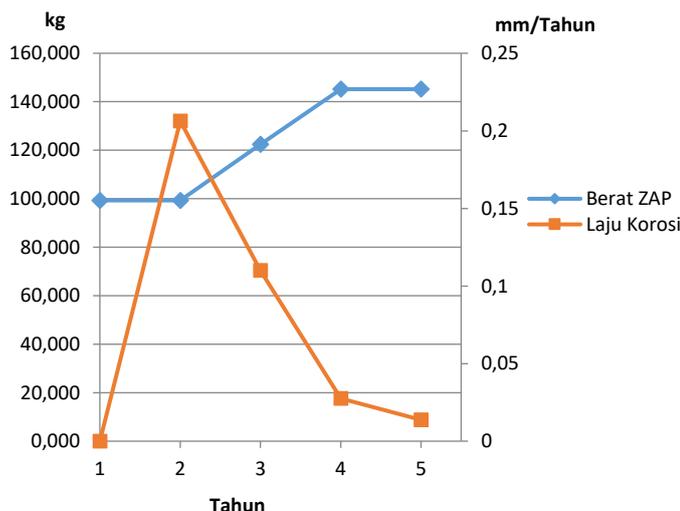
b. Kapal 2

Berat zink anoda yang terpasang pada kapal 2 lebih dari 1/2 berat zink anoda keseluruhan, terlihat dalam tabel 3, sehingga perlu ditinjau lagi faktor-faktor lain yang dapat mengurangi berat zink anoda tetapi tidak mengurangi kemampuan perlindungan laju korosi. Dalam Gambar 2 terlihat bahwa laju korosi terkecil mencapai 0,0317 mm/tahun pada tahun ke-5.



Gambar 2. Grafik Korelasi Berat Zink Anoda dan Laju Korosi pada Kapal 2

c. Kapal 3



Gambar 3. Grafik Korelasi Berat Zink Anoda dan Laju Korosi pada Kapal 3

Kapal 3 juga menggunakan zink anoda lebih dari 1/2 berat zink anoda keseluruhan terlihat dalam Tabel 3. Pada tahun ke-1 menuju tahun ke-2 tidak terjadi penambahan berat zink anoda, sehingga terjadi laju korosi terbesar mencapai 0,2063 mm/tahun pada tahun ke-2. Pada tahun ke-3 hingga ke-5 ada penambahan berat zink anoda sebesar 45,868 kg dan terjadi penurunan laju korosi yang signifikan hingga mencapai 0.0138 mm/tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan studi penggunaan zink anoda untuk mengurangi laju korosi pada kapal baja, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: Pada kapal 1, kapal 2, dan kapal 3 terlihat jelas bahwa penambahan berat zink anoda berpengaruh pada penurunan laju korosi. Pada kapal No. 1, pada tahun ke-4 dan ke-5 tidak ada penambahan berat zink anoda mengakibatkan laju korosi yang menurun secara signifikan mencapai laju korosi tertinggi pada tahun ke-5 sebesar 0,1708 mm/tahun. Pada kapal 2, pada tahun ke-4 dan ke-5 dengan penambahan berat zink anoda sebanyak 25.704 kg mengakibatkan laju korosi yang

menurun di mana pada tahun ke-3 sebesar 0,0633 mm/tahun dan pada tahun ke-4 dan ke-5 menjadi 0.0317 mm/tahun. Pada kapal 3, pada tahun ke-4 dan ke-5 dengan penambahan berat zink anoda sebanyak 45,868 kg mengakibatkan laju korosi yang menurun secara signifikan di mana pada tahun ke-2 sebesar 0,2063 mm/tahun menurun pada tahun ke-4 0.0275 mm/tahun dan tahun ke-5 menjadi 0.0138 mm/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura sebagai penyanggah dana (dana PNPB Fakultas Teknik tahun 2024) sehingga penelitian ini dapat selesai sesuai jadwal yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chahar, B. S., Singh, V., Bhadu, M. K., Hadas, S., ZBhagat, A. N., Mondal, K., (2024). Recovery and utilization of zinc dross for sacrificial anode cathodic protection of steel structures *Elsevier* **41** <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01046>
- Farroq, A., Hamza, M., Ahmed, Qadeer., Deen, K. M. (2019). Evaluating the performance of zinc and aluminium sacrificial anodes in artificial seawater *Elsevier* **314** 135-141 <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.05.067>.
- Imran, M. H., Khan, M. I., Jamaludin, S., Hasan, I., Ahmad, M. F. B., Ayob, A. F. M., Nik, W. M. N. B. W., Suhrab, M. I. L., Zulkifli, M. F. R. B., Afrizal, M. B., Ahmad, S. Z. A. B. S., (2024). A critical analysis of machine learning in ship, offshore, and oil & gas corrosion research, part I: corrosion detection and classification *Elsevier* **313** <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119600>
- Kusumaningrum, I., Usman, M. (2019). The effect of more anodic metals from zinc addition on cathodic protection of iron with zinc as sacrificial anode against AIP Conf. **494** <https://doi.org/10.1088/1757-899X/494/1/012086>
- Lekatompessy, S. T. A. (2023). The wear rate of zinc anode on surface underwater of ships in reducing corrosion rate AIP Conf. Proc. AIP Publishing **2588**, <https://doi.org/10.1063/5.0111844>
- Lekatompessy, S. T. A., Latuhihin, G. R. (2021). Analysis of the effect of protection system installation cathode and sacrificial anode (Zn) on corrosion rate of steel vessels AIP Conf. Proc. **2360** <https://doi.org/10.1063/5.0059554>
- Mahendra, T. I., Dwisetiono. (2022). Cathodic protection using zinc anode to inhibit corrosion on the hull of ship port link VII Jakarta **3** **56-62** <https://doi.org/10.36761/hexagon.v3i1.1492>
- Muh, S., Juswan, S., Paroka, P. (2024). Analysis of needs and placement of zinc anode for new ferry ship buildings Maritime Park Journal of Maritime Technology and Society **3** 44-45 <https://doi.org/10.62012/mp.v3i2.35389>
- Trethewey, K. R. (1993). Corrosion for Students of Science and Engineering Longman Scientific and Technical.
- Tubaro, E., Fabro L. D., Pesle, M., Bontempi, A., Fedrizzi, L., Andreatta, F. (2025). Effect of zinc anodes on the behavior of antifouling coatings applied on copper alloys *Elsevier* **201** <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2025.109153>.
- Xu, L., Xin, Y., Ma, Li., Zhang, H., Lin, Z., Li, X., (2021). Challenges and solutions of cathodic protection for marine ship *Elsevier* **2** 33-40 <https://doi.org/10.1016/j.corcom.2021.08.003>.