

## ANALISIS PENGARUH LUAS PERMUKAAN ZINK ANODA TERHADAP LAJU KOROSI

**Sonja T. A. Lekatompessy\***

Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [sonja.lekatompessy@gmail.com](mailto:sonja.lekatompessy@gmail.com)

### ABSTRAK

Penggunaan zink anoda sebagai salah satu metode dalam mereduksi laju korosi pada kapal adalah sangat penting. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan seberapa besar pengaruh luas permukaan zink anoda terhadap laju korosi. 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. Dari grafik hasil perhitungan zink anoda sesuai teori dan hasil pemakaian zink anoda pada tiga kapal, terlihat jelas bahwa penambahan luas permukaan zink anoda berpengaruh pada penurunan laju korosi pada kapal No. 1, No. 2, dan No. 3. Penambahan luas permukaan zink anoda pada kapal 1 berpengaruh pada penurunan laju korosi hingga mencapai 0,0339 mm/tahun pada tahun ke-4 dan tahun ke-5. Pada kapal No. 2, jumlah penambahan luas permukaan zink anoda juga berpengaruh terhadap menurunnya laju korosi pada tahun ke-4 mencapai 0,0275 mm/tahun dan semakin menurun pada tahun ke-5 sebesar 0,0138 mm/tahun. Pada kapal ke-3 tidak ada penambahan luas permukaan zink anoda, hal ini mengakibatkan semakin meningkatnya laju korosi sepanjang lima tahun hingga pada tahun ke-5 mencapai 0,0706 mm/tahun.

**Kata Kunci:** Zink anoda, laju korosi.

### ABSTRACT

The use of zinc anode as a method of reducing the rate of corrosion on ship is very important. This research aims to determine how much influence the zinc anode surface area on the corrosion rate. To determine the ability of the zinc anode installed, data on the corrosion rate of the last 5 years from 3 ships and also the number of sacrificial anodes used each year are needed. From the graph of the calculation of zinc anode according to theory and the results of the use of zinc anode on three ships, the results obtained are clear that the increase in the surface area of zinc anode has an effect on reducing the corrosion rate on ships No. 1, No. 2, and No. 3. The addition of zinc anode surface area on ship No. 1 has an effect on reducing corrosion rates to reach 0.0339 mm/year in the 4<sup>th</sup> year and 5<sup>th</sup> year. In ship No. 2, the amount of additional surface area of zinc anode also affects the decrease in corrosion rate in the 4<sup>th</sup> year reaching 0.0275 mm/year and decreasing in the 5<sup>th</sup> year by 0.0138 mm/year. On the 3<sup>rd</sup> ship there was no increase in the surface area of zinc anode, this resulted in an increase in corrosion rate for five years until in the 5<sup>th</sup> year it reached 0.0706 m/year.

**Keywords:** Zinc anode, corrosion rate.

### 1. PENDAHULUAN

Korosi merupakan salah satu tantangan paling serius yang dihadapi umat manusia dengan kerugian tahunan yang sangat besar sebesar \$2,2 triliun di Amerika Serikat, atau 3% dari PDB global. Korosi tidak dapat dihindari, hal ini dapat dikurangi secara signifikan dengan menggunakan metode pengendalian korosi yang tepat. Manajemen korosi memerlukan penerapan

prinsip secara teknik dengan metode yang paling ekonomis, untuk mengurangi korosi. Tujuan dari teknik pengendalian korosi adalah untuk meminimalkan korosi material hingga batas yang dapat diterima sehingga material tersebut dapat mencapai masa pakai normal yang diinginkan. Dalam sejumlah kasus tertentu, metode pengendalian korosi dirancang untuk menghilangkan masalah korosi. Selama periode waktu tertentu, perkembangan besar telah terjadi di bidang metode pencegahan dan perlindungan korosi. Namun demikian, masih banyak permasalahan yang perlu dipecahkan oleh para ilmuwan (Zehra et al., 2022).

Korosi merupakan proses alami yang menyebabkan degradasi material logam dan nonlogam secara perlahan akibat reaksi lingkungan. Korosi mempengaruhi banyak material, termasuk keramik, polimer, dan komposit, meskipun korosi terutama terjadi pada material logam. Bab ini membahas tentang dampak korosi terhadap lingkungan dan organisme. Korosi diperkirakan menimbulkan kerugian miliaran dolar bagi dunia usaha, kota, dan militer setiap tahunnya. Biaya keseluruhan korosi dibagi menjadi dua jenis utama: langsung dan tidak langsung. Bab ini membahas studi mutakhir mengenai dampak korosi termasuk laporan Uhlig, laporan Hoar, laporan ekonomi input/output, studi FHWA AS (2002), dan studi terbaru International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies oleh Amerika Serikat yang diterbitkan pada tahun 2016. Bab ini juga mencakup batasan seri galvanik, sel korosi, EMF, dan unit korosi (Hussain et al., 2023a).

Artikel ini memberikan gambaran umum tentang zink anoda yang digunakan dalam berbagai jenis baterai dari sudut pandang bahan, karakteristik struktural dan morfologi elektroda, dan hubungannya dengan aktivitas elektrokimia dan reversibilitas. Secara khusus, penggunaan berbagai bentuk bahan zink seperti bubuk, serat, dendrit, dan pelet, untuk baterai alkaline primer, dapat diisi ulang, baterai zink-udara dan sel bahan bakar juga dibahas. Struktur dan morfologi elektroda berpori dianalisis sehubungan dengan reaktivitas elektroda. Transformasi morfologi bahan zink selama pengisian dan pengosongan elektroda dibahas dalam kaitannya dengan dampaknya terhadap perubahan bentuk, interfase elektrolit padat, dan umur elektroda zink sekunder. Pada bagian akhir, ruang lingkup peningkatan zink elektroda untuk aplikasi dalam sistem daya tinggi dan rentang suhu yang luas dibahas (Cao & Li, 2023).

Meskipun lapisan pelindung tidak memberikan banyak dukungan struktural, lapisan tersebut melindungi material lain sehingga dapat mempertahankan kekuatan dan integritasnya. Tujuan utama dari lapisan pelindung adalah untuk melindungi elemen struktur korosif dari lingkungan. Cacat apa pun pada lapisan dapat menjadi titik fokus kerusakan dan korosi pada media, sehingga lapisan tersebut harus memberikan penghalang terus-menerus pada media. Selain komposisi bahan, unsur lain juga mempengaruhi kualitas lapisan. Agar suatu pelapis efektif melawan korosi, maka harus mempunyai beberapa karakteristik, antara lain tingkat adhesi yang tinggi pada substrat, diskontinuitas (porositas) pelapisan yang minimal, ketahanan yang tinggi terhadap aliran elektron, ketebalan yang cukup (semakin signifikan), semakin tebal, semakin baik ketahanannya), dan laju difusi yang lambat untuk ion seperti  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  (Hussain et al., 2023b).

Baterai berbasis zink telah menjadi landasan pasar baterai sejak penemuan tumpukan volta pada tahun 1799. Selama lebih dari 200 tahun, baterai ini telah mempengaruhi banyak aspek kehidupan manusia: mulai dari menyalakan perangkat medis implan yang menjaga jantung kita tetap berdetak hingga membawa kita kembali dengan selamat dari jangkauan terjauh luar angkasa. Saat ini, baterai berbasis zink merupakan alat penting dalam upaya memperluas penggunaan sumber energi terbarukan dan membangun jaringan listrik yang kuat dan andal. Bab ini memperkenalkan zink sebagai bahan elektroda baterai, menceritakan sejarah pengembangan dan aplikasi baterai berbasis zink, dan memberikan gambaran umum tentang bahan kimia utama yang ada di pasaran saat ini (Clark, 2023).

Korosi mempunyai dampak yang besar terhadap efisiensi operasional proses industri dan pabrik. Korosi suatu logam terutama dipengaruhi oleh potensi logam dan pH lingkungan. Namun, faktor lingkungan lain seperti suhu, oksigen, dan bahan tambahan juga berkontribusi, menyebabkan daerah korosi, pasivasi, dan ketebalan. Korosi tidak selalu terjadi secara merata di seluruh permukaan logam, namun terjadi di lokasi tertentu yang mengakibatkan percepatan yang

signifikan. Korosi dapat lebih dipahami dengan menerapkan prinsip dasar termodinamika dan kinetika elektrokimia (Smithers, 2022).

Perlindungan katodik pada area cacat lapisan kaya zink (ZRC) dengan kandungan rendah (40% berat) diselidiki dalam kondisi film cair tipis perendaman dan atmosfer menggunakan wire beam elektroda (WBE). Pelapisan dikarakterisasi dengan spektroskopi impedansi elektrokimia, pemindaian mikroskop elektron, dan analisis morfologi permukaan. Dalam kedua kondisi tersebut, ZRC tidak mempolarisasi seluruh elektroda ke interval potensial proteksi yang ditentukan oleh standar proteksi katodik. Karena kandungan oksigen terlarut yang tinggi dalam film cair tipis di bawah kondisi atmosfer, bubuk seng pada permukaan lapisan diaktifkan dengan cepat. Hal ini menghasilkan arus proteksi yang lebih tinggi untuk substrat baja di area cacat lapisan, dan korosi logam dapat dikendalikan secara efektif. Namun, korosi pada area cacat lapisan tetap ada saat direndam meskipun bubuk seng dalam lapisan juga memberikan arus proteksi. Berbeda dengan elektroda lembaran konvensional, WBE dapat memberikan informasi tentang distribusi kerapatan arus permukaan dan proses terkait seperti aktivasi bubuk seng, polarisasi, dan pembalikan polaritas logam substrat selama tahap proteksi katodik ZRC (Xia et al., 2021).

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 (Lekatompessy, 2023).

Pengendalian korosi kapal mencakup material baja, lapisan pelindung, dan proteksi katodik, yang harus dipertimbangkan dalam semua tahap kehidupan kapal. Lapisan pelindung adalah elemen utama pengendalian korosi. Pemilihan dan pemasangan lapisan sangat penting untuk umur desain yang diharapkan. Pemilik kapal perlu berkomunikasi dengan produsen pelapis dan galangan kapal untuk pemilihan dan pengadaan bahan pelapis dan proses penerapannya, termasuk persiapan permukaan dan penerapan serta inspeksi pelapisan, untuk mencapai masa pakai pelapisan yang diharapkan dengan sebaik-baiknya. Bahan pelapis yang dipilih dengan tepat dan praktik penerapannya pada kapal-kapal besar dan kompleks ini memerlukan investasi finansial yang signifikan untuk mencapai masa pakai yang lebih lama dengan pemeliharaan dan perbaikan yang minimal, yang, pada gilirannya, meningkatkan keamanan jiwa dan harta benda serta pelestarian lingkungan alam (Wei et al., 2018).

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 & Latuhihin, 2021).

## 2. BAHAN DAN METODE

Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara. Analisis dilakukan terhadap luas permukaan anoda zink di lapangan dan data perhitungan sehingga dapat ditentukan pemakaian zink anoda yang tepat sesuai dengan kebutuhan untuk menurunkan 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.

#### a. *Persamaan*

Pengukuran weight loss merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghitung selisih antara berat awal dan berat akhir pelat. Menurutny metode penurunan berat badan merupakan cara sederhana untuk mengetahui kinerja proses korosi logam. Kehilangan berat pelat dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1 (Trethewey & Chamberlain, 1988):

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

Di mana:

$\omega_0$  = berat awal

$\omega_1$  = berat akhir

$W_L$  = weight loss

Untuk mendapatkan persentase weight loss dapat dilihat pada persamaan 2 (Trethewey & Chamberlain, 1988):

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

Di mana:

$\omega_0$  = initial weight

$\omega_1$  = final weight

$W$  = Weight loss (%)

Untuk mendapatkan laju korosi menggunakan persamaan 3 berikut ini (Trethewey & Chamberlain, 1988):

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

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

$D$  = rapat massa ( $\text{gr/cm}^3$ )  
=  $7.8 \text{ mgr/m}^3$  atau  $490 \text{ lb/ft}^3$ ;

$A$  = luas permukaan ( $\text{in}^2$ );

$T$  = lama pengujian (hari).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan kemudian dituangkan ke dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 1.** Luas Permukaan Zink Anoda Seluruh ( $\text{m}^2$ )

No.	LUAS PERMUKAAN ZAP SELURUH ( $L_B$ ) $\text{m}^2$				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	2,260	2,250	2,250	2,700	2,700
2	1,738	1,738	1,170	1,950	1,950
3	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320

Keterangan :

$L_B$  = Luas permukaan anoda terpasang seluruhnya ( $\text{m}^2$ )

= Perhitungan dilakukan sesuai dengan type ZAP yang dipasang pada tahun itu

**Tabel 2.** Luas Permukaan ZAP yang dibutuhkan

No.	$S_b$ (m <sup>2</sup> )	CD (mA/m <sup>2</sup> )	$I = S_b \times CD \text{ A}$	Keluaran Arus ZAP per m <sup>2</sup>	$L_A = I / 6.5$ (m <sup>2</sup> )
1	418.310	32	13.390	6.50	2.060
2	339.161	32	10.850	6.50	1.670
3	347.970	32	11.140	6.50	1.710

Keterangan :

No.1-3 = Sebanyak 3 buah kapal

 $S_b$  = Luas permukaan basah lambung kapal baja (m<sup>2</sup>)CD = Harga tetapan terapan arus untuk permukaan lambung dan sirip kapal baja (mA/m<sup>2</sup>)I = Jumlah total kuat arus yang dibutuhkan untuk memproteksi permukaan basah kapal baja ( $S_b$ ) (Ampere) $I_{ZAP}$  = Keluaran arus ZAP dalam setiap 1 m<sup>2</sup> (Ampere) $L_A$  = Luas total permukaan ZAP yang dibutuhkan untuk memperoleh keseluruhan permukaan basah lambung kapal baja (m<sup>2</sup>)**Tabel 3.** Luas Permukaan Zink Anoda Seluruh (m<sup>2</sup>)

No.	LUAS PERMUKAAN ZAP SELURUH ( $L_B$ ) m <sup>2</sup>				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
1	2,260	2,250	2,250	2,700	2,700
2	1,738	1,738	1,170	1,950	1,950
3	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320

Keterangan :

 $L_B$  = Luas permukaan anoda terpasang seluruhnya (m<sup>2</sup>)

= Perhitungan dilakukan sesuai dengan tipe ZAP yang dipasang pada tahun itu.

**Tabel 4.** Hubungan Luas Permukaan Zap Terpasang dan Luas Zap yang Diperlukan (m<sup>2</sup>)

No.	I butuh (A)	$L_A$ (m <sup>2</sup> )	$(L_A - L_B)_1$	$(L_A - L_B)_2$	$(L_A - L_B)_3$	$(L_A - L_B)_4$	$(L_A - L_B)_5$
1	13.39	2.06	-0.19	-0.19	-0.19	-0.64	-0.64
2	10.85	1.67	-0.07	-0.07	-0.10	-0.28	-0.28
3	11.14	1.71	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39

Keterangan :

- - Berarti luas ZAP terpasang lebih
- + Berarti luas ZAP terpasang kurang
- Tabel ini adalah selisih antara luas total permukaan Anoda dibutuhkan ( $L_A$ ) dan luas total permukaan Anoda yang dipasang pada tahun itu.
- Harga  $L_A$  adalah tetap dari tahun pertama hingga tahun kelima
- Harga  $L_B$  adalah berubah-ubah sesuai dengan tipe yang dipasang dan jumlahnya dari tahun pertama hingga tahun kelima.

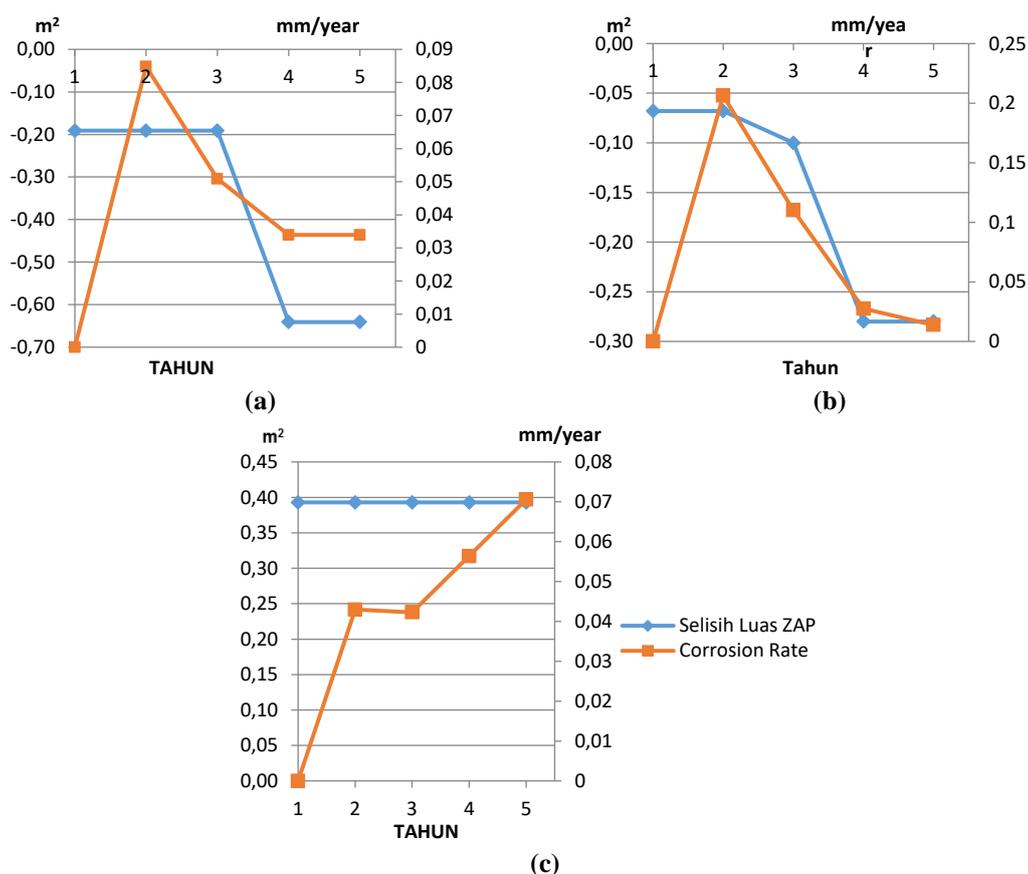
**Tabel 5.** Laju Korosi Pada Kapal

VESSEL	CORROSION RATE (mm/year)				
	1	2	3	4	5
1	-	0.0848	0.0509	0.0339	0.0339
2	-	0.2063	0.1100	0.0275	0.0138
3	-	0.1270	0.0423	0.0564	0.0706

Keterangan:

*Corrosion Rate* pada tahun pertama tidak mempunyai nilai karena merupakan titik awal yang mana laju korosi diambil dari pengurangan berat (*weight loss*) setelah satu tahun periode *docking* berlalu.

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



**Gambar 1.** Grafik Korelasi Luas Permukaan ZAP dan *Corrosion Rate* pada (a) Kapal 1; (b) Kapal 2; dan (c) Kapal 3

Dari gambar 1(a), diketahui bahwa dari tahun ke-1 hingga tahun ke-5 luas permukaan ZAP yang terpasang lebih dari yang semestinya. Sehingga berdasarkan kondisi ini seharusnya laju korosi dapat dikendalikan baik. Pada tahun ke-1 hingga tahun ke-3 sebenarnya masih dalam batas normal bila dilihat besar *Corrosion Rate*, meskipun ada sedikit penyimpangan pada tahun ke-1, tetapi kembali dapat dikendalikan pada tahun ke-4 dan tahun ke-5.

Berdasarkan data yang ada pada 2 tahun terakhir ZAP tipe B6 ditambah 10 buah pada bagian ini, dari sini dapat diketahui bahwa letak ZAP juga turut menentukan besarnya laju korosi yang terjadi.

Dari tabel tipe zink anoda diketahui bahwa pada tahun ke-3 jumlah ZAP ditambah dan terlihat adanya pengurangan laju korosi mendekati normal. Dengan penambahan ZAP yang dilakukan terlihat dari Gambar 1 (b) di atas bahwa terjadi penurunan *Corrosion Rate* pada *Corrosion Rate* tahun ke-4 dan ke-5 tidak terjadi korosi yang cukup berarti sebesar 0,0138 mm/tahun.

Luas permukaan zink anoda terpasang kurang dari yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 4 Nomor 5. Pada kapal 3, jumlah dan tipe zink anoda yang dipasang tidak berubah, hanya penempatannya yang diubah dari tahun ke-tahun, ditunjukkan pada Gambar 3 (c). Dampaknya pada *Corrosion Rate* tidak terlalu besar, terlihat dari gambar 10 pada tahun ke-5 mencapai 0,07 mm/year, tetapi dari sini pemilik kapal dapat menentukan jumlah zink anoda yang terbaik yakni zink anoda dapat ditambah karena dilihat dari luas permukaan zink anoda terpasang masih kurang dari yang dibutuhkan berdasarkan teori. tipe zink anoda diketahui bahwa pada tahun ke-3 jumlah zink anoda ditambah dan terlihat adanya pengurangan laju korosi mendekati normal. Dengan penambahan zink anoda yang dilakukan terlihat dari gambar 3 di atas bahwa terjadi penurunan *Corrosion Rate* pada *Corrosion Rate* tahun ke-4 dan ke-5 tidak terjadi korosi yang cukup berarti sebesar 0,0138 mm/tahun.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan luas permukaan zink anoda mengurangi laju korosi pada permukaan basah lambung kapal baja. Walaupun tidak mampu menghilangkan sepenuhnya, tetapi telah terbukti, bahwa dengan pemakaian zink anoda yang sesuai dapat menjaga laju korosi lambung kapal tetap terkendali.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pattimura sebagai penyandang dana (dana PNBP Fakultas Teknik tahun 2023) sehingga penelitian ini dapat selesai sesuai jadwal yang ditetapkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Cao, L. S., & Li, D. (2023). Zinc systems | Zinc electrodes: Overview. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96022-9.00038-4>
- Clark, S. (2023). Zinc systems | Introduction, history, and overview of zinc-based batteries. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96022-9.00070-0>
- Hussain, C. M., Verma, C., Aslam, J., Aslam, R., & Zehra, S. (2023a). 1—Basics of corrosion and its impact. In C. M. Hussain, C. Verma, J. Aslam, R. Aslam, & S. Zehra (Eds.), *Handbook of Corrosion Engineering* (pp. 3–30). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95185-2.00001-0>
- Hussain, C. M., Verma, C., Aslam, J., Aslam, R., & Zehra, S. (2023b). 21—Corrosion protective coatings. In C. M. Hussain, C. Verma, J. Aslam, R. Aslam, & S. Zehra (Eds.), *Handbook of Corrosion Engineering* (pp. 283–321). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95185-2.00021-6>
- Lekatompessy, S. T. A. (2023). The wear rate of zinc anode on surface underwater of ships in reducing corrosion rate. *AIP Conference Proceedings*, 2588(1), 040009. <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 Conference Proceedings*, 2360(1), 050038. <https://doi.org/10.1063/5.0059554>
- Smithers, G. W. (2022). Corrosion. In P. L. H. McSweeney & J. P. McNamara (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)* (pp. 231–238). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818766-1.00375-5>
- Trethewey, K. R., & Chamberlain, J. (1988). *Corrosion for Students of Science and Engineering*. Longman Scientific & Technical.
- Wei, C., Wang, G., Cridland, M., Olson, D. L., & Liu, S. (2018). Chapter 25—Corrosion Protection of Ships. In M. Kutz (Ed.), *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Third Edition)* (pp. 533–557). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-52472-8.00026-5>
- Xia, W., Chen, Z., Zhang, G., Zhang, W., Liu, F., Yao, C., Lin, Z., & Li, W. (2021). Comparison of cathodic protection processes of 40% zinc-rich coatings under immersion and atmospheric conditions: Protection for defective areas. *Electrochimica Acta*, 385, 138450. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138450>
- Zehra, S., Mobin, M., & Aslam, R. (2022). CHAPTER 2—Corrosion prevention and protection methods. In L. Guo, C. Verma, & D. Zhang (Eds.), *Eco-Friendly Corrosion Inhibitors* (pp. 13–26). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91176-4.00023-4>