

PENGARUH ANODA MAGNESIUM ALLOY AZ91D TERHADAP POLA KOROSI GALVANIS pada LOGAM yang TERCELUP AIR LAUT

Mohammad Ridwan¹, Sulaiman¹, Sunarso Sugeng¹

¹Departemen Teknologi Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang Jawa Tengah, Indonesia 50275
Email: mridwand@gmail.com

Abstrak

Air laut atau garam merupakan elektrolit yang sangat agresif dan korosif bila terkena logam, yang menjelaskan bahwa korosi pada struktur laut / lepas pantai pada berbagai jenis logam dan paduan baja, berbicara sangat berbahaya, tidak hanya untuk struktur terendam, tetapi juga karena keadaan presentasi. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menganalisis pengaruh anoda magnesium alloy AZ91D terhadap pola korosi galvanis pada logam yang terpapar air laut. Penelitian ini tentang penerapan struktur pengorbanan magnesium dan dapat diterapkan pada struktur bawah air yang terpapar air laut yang diperoleh dari penelitian sebelumnya. Dalam hal ini kinerja kedua paduan akan dinilai dengan meliputi potensi proteksi dan arus galvanik yang dapat dihasilkan, kapasitas, efisiensi, tingkat konsumsi, waktu induksi, dan jalur korosi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa faktor dan desain lingkungan, seperti konsentrasi garam terlarut dan variasi luas yang didukung, juga telah diuji pengaruhnya terhadap kemampuan bahan paduan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa material magnesium alloy AZ91D dapat diaplikasikan pada logam yang terpapar air laut seperti kapal dan struktur bawah laut, karena ketahanannya yang lebih tinggi terhadap korosi galvanik. Magnesium AZ91D juga memiliki ketahanan terhadap banyak waktu di laut. Sehingga upaya peningkatan ketahanan magnesium terhadap logam yang berhubungan dengan air laut seperti kapal dan struktur bawah laut, spesimen AZ91D akan lebih baik dengan logam aluminium untuk meningkatkan ketahanan korosi dan lebih sulit daripada tidak terikat.

Kata Kunci: Magnesium AZ91D, korosi galvanik, kapal, struktur bawah air, anoda

Abstract

Seawater or salt is a very aggressive and corrosive electrolyte when exposed to metal, which explains that corrosion of marine / offshore structures on various types of metals and steel alloys, speaking is very dangerous, not only for submerged structures, but also because of the presentation state. The purpose of this paper is to analyze the effect of magnesium alloy AZ91D anode on the galvanic corrosion pattern of metals exposed to seawater. In this case the performance of the two alloys will be assessed by covering the protection potential and galvanic current that can be generated, capacity, efficiency, consumption rate, induction time, and corrosion path. Thus it can be said that environmental and design factors, such as dissolved salt concentration and the wide variation supported, have also been tested for their effect on the alloying ability of the material. The results of this study indicate that AZ91D magnesium alloy material can be applied to metals exposed to seawater such as ships and underwater structures, because of their higher resistance to galvanic corrosion. The AZ91D magnesium also has resistance to a lot of time at sea. So as to improve the resistance of magnesium to metals that come into contact with seawater such as ships and underwater structures, the AZ91D specimen will be better with aluminum metal to increase corrosion resistance and be harder than unbonded.

Keywords: Magnesium AZ91D, galvanic corrosion, ship, underwater structure, anode

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak kekayaan alam. Daerah yang sebagian besar lautan membuat banyak struktur dan bahan logam untuk sarana transportasi, terutama baja karbon. Struktur konstruksi selalu berhubungan dengan air laut yang merupakan elektrolit korosif. Hal ini dapat menimbulkan serangan korosi pada suatu konstruksi, yang dapat menimbulkan kerugian yang besar dan kurang efisien. Dalam konteks yang terkait, studi tentang pembuatan kapal dan beberapa faktor yang

dipertimbangkan dari banyak masalah yang mungkin muncul mendapatkan perhatian yang cukup, bahan paduan aluminium yang dapat digunakan sebagai anoda korban untuk melindungi logam dari korosi yang disebabkan oleh air laut [1].

Baja memiliki karakteristik kekerasan yang berbeda ketika mendapatkan perlakuan yang berbeda seiring dengan lokasi lingkungan air laut yang dapat menyebabkan korosi. Suatu struktur dalam konstruksi kapal apabila memperoleh gaya tekan secara tegak lurus akan tersalurkan ke segala arah sesuai dengan sifat mekanik dari baja yang

digunakan sebagai konstruksi utama kapal [2]. Indonesia dengan wilayah lautnya sangat memungkinkan untuk menggunakan kapal baja sebagai sarana penghubung antar pulau, jenis kapal yang efisien untuk penyeberangan adalah kapal ro-ro [3].

Beberapa kasus, terutama dalam hal korosi, berbagai metode untuk meningkatkan koordinasi di lingkungan perairan laut sedang dikembangkan. Dalam hal ini hubungannya dengan sarana transportasi laut. Salah satunya adalah pendekatan metode pengorbanan yang bekerja berdasarkan prinsip proteksi katodik. Pada awalnya permukaan struktur logam di dalam air diubah menjadi katodik dengan memberikan arus yang diterima dari anoda korban. Jenis korban yang cocok untuk digunakan pada lingkungan standar adalah anoda korban dari paduan magnesium AZ91D[4]. Berdasarkan jarak kedua jenis paduan memberikan pilihan jenis paduan yang sesuai dengan kebutuhan mereka. Dasar pemilihan ini harus disepakati hasil terbaik. Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi unjuk kerja kedua paduan tersebut terhadap arus dan potensial galvanik, kapasitas, efisiensi, tingkat konsumsi, waktu induksi, dan aliran korosi. Faktor dan desain lingkungan, seperti konsentrasi garam terlarut dan efek yang dipelajari pada kinerja paduan yang disesuaikan dengan tingkat garam laut di wilayah Indonesia.

Metode perlindungan korosi elektrokimia katodik mana yang merupakan reaksi oksidasi galvanis terkonsentrasi di anoda korban dan menghilangkan katoda korosi. Suatu struktur yang akan dibuat menjadi bermuatan negatif sehingga bertindak sebagai katoda. Sedangkan elektroda lainnya dibuat dengan sistem kelistrikan positif dan bertindak sebagai anoda untuk membuat rangkaian listrik tertutup dan juga jika ada bagian logam yang terkorosi. Dengan demikian sistem ini akan membutuhkan anoda, katoda, listrik antara dua keberadaan elektrolit. Dari studi tentang penerapan magnesium sebagai kapal anoda korban dan struktur bawah laut diperoleh dari ringkasan

penelitian sebelumnya. Aplikasi magnesium dapat semakin meningkat bila digunakan di bidang otomotif dan industri pesawat terbang. Selain karena bobotnya yang lebih ringan, kekuatan relatif, sifat mekanik yang memadai dan biaya yang terjangkau[5]. Studi tersebut menjelaskan bahwa Magnesium adalah logam yang paling aktif dan sekaligus merupakan elektroda potensial standar rendah, Karena magnesium adalah logam yang paling aktif, dapat menyebabkan korosi galvanik yang serius jika masuk dan mengalami kontak dengan logam lain di lingkungan air laut. Sedangkan mengacu pada lingkungan air laut, kandungan magnesium akan membentuk sistem korosi galvanis dan mengendalikan korosi mikro-galvanis dengan baja lain ada beberapa fase sekunder (seperti fase alfa atau beta) [6]. Berdasarkan hasil penelitian internasional sebelumnya yang membahas tentang korosi galvanik dan proteksi katodik suatu sistem dengan paduan magnesium sebagai anoda korban, penelitian ini berasal dari hasil penelitian sebelumnya yang belum menemukan karakteristik bentuk formulasi magnesium yang cocok jika paduan tersebut [4].

Pada penelitian ini dilakukan pengujian korosi struktur mikro galvanis dan pola elektrokimia antara Korban Anoda Magnesium Alloy AZ91D pada kapal atau struktur bawah air yang terkena air laut. Beberapa penelitian sebelumnya telah menguji material Magnesium Alloy AZ91D sebagai anoda korban. Menguji paduan AZ91D dalam larutan NaCl pada kadar 3,5% dan pH 7,25, menggunakan teknik perendaman konstan[7]. Sama dengan penelitian sebelumnya dengan menguji pola korosi magnesium alloy pada kadar NaCl 3,5% [8]. Melakukan uji eksperimental perubahan paduan permukaan dan studi analitik menggunakan eksperimen optik dan pemindaian elektron mikroskopis [9]. Korosi merupakan suatu hasil reaksi suatu bahan akibat kontak dengan lingkungan terutama pada asam atau basa, degradasi mengakibatkan perubahan fungsi dan bentuk

fisik bahan, kelemahan fungsi dan bentuk bahan membuat struktur dari bahan tersebut menjadi rusak. kandungan logam di dalamnya mengalami perubahan sifat mekanik akibat kontak dengan dua unsur[10]. Degradasi dapat terjadi karena paparan sinar matahari, jamak ditemukan pada struktur logam yang bersentuhan dengan laut dan lepas pantai.

Air laut atau garam merupakan elektrolit yang sangat agresif dan korosif bila terkena logam, yang menjelaskan bahwa korosi pada struktur laut / lepas pantai pada berbagai jenis logam dan paduan baja, berbicara sangat berbahaya, tidak hanya untuk struktur terendam, tetapi juga karena keadaan presentasi[11]. Pada dasarnya korosi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu korosi, korosi lokal, dan korosi mekanis. Korosi lokal adalah korosi dengan serangan terhadap logam pasif dalam lingkungan korosif dimana logam pelindung yang berfungsi untuk melindunginya telah mengalami kerusakan sebelumnya. Proteksi galvanis dan tingkat distribusi korosinya, yang dapat diasumsikan dalam rumus matematika [12]:

$$I_g = (\phi_c - \phi_a) / (R_a + R_c + R_s + R_m) \quad (1)$$

I_g adalah galvanik yang terjadi antara anoda dan katoda; ϕ_c dan ϕ_a rangkaian potensial area terbuka antara katoda dan anoda; R_a dan R_c adalah resistansi katoda dan anoda; R_s adalah tahanan larutan antara katoda dan anoda, dan R_m adalah tahanan logam dari permukaan anoda ke permukaan katoda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh anoda magnesium alloy AZ91D terhadap pola korosi galvanis pada logam yang terpapar oleh air laut.

2. METODE

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah korosi struktur mikro galvanis dan pengujian pola elektrokimia antara Magnesium Alloy AZ91D Korban menjadi Anoda pada struktur kapal atau

struktur bawah air yang terkena air laut. Beberapa penelitian sebelumnya telah menguji material Magnesium Alloy AZ91D sebagai anoda korban. Penelitian sebelumnya mencoba menguji paduan AZ91D dengan larutan NaCl pada 3,5% dan pH 7,25, menggunakan metode perendaman konstan[12]. Bahan dan uji eksperimental yang sama dilakukan dalam penelitian ini untuk menguji pola korosi paduan magnesium pada kadar NaCl 3,5%[13]. Melakukan uji eksperimental perubahan permukaan paduan dan studi analitik menggunakan optik eksperimental dan pemindaian elektron mikroskopis[9].

Komposisi material yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan magnesium AZ91D. Karena potensial elektrodanya yang rendah, pada penelitian ini ketahanan aloi magnesium AZ91D dibandingkan dengan bahan magnesium sejenis untuk mendapatkan gambaran kekuatannya terlebih dahulu. Merujuk pada sejumlah pendapat peneliti sebelumnya yang menguji kekuatan korosi galvanik pengorbanan magnesium AZ91D paduan, menunjukkan bahwa bahan ini akan lebih tahan terhadap korosi jika disandingkan atau dicampur dengan beberapa bahan lain yang terbukti meningkatkan daya tahan paduan magnesium, dengan tetap mempertahankan nilai pasar yang cukup murah. Kombinasi ini diharapkan dapat menghasilkan gambaran untuk penggunaannya dalam industri transportasi, seperti kapal dan struktur kelautan. Analisis kekuatan paduan magnesium AZ91D.

2.1 Karakteristik Pola Korosi Galvanis

Magnesium juga dapat diklasifikasikan ke dalam salah satu anoda korban yang banyak digunakan dalam transportasi laut. Hal ini dikarenakan kekuatannya yang relatif baik sehingga menjadi pertimbangan dalam penggunaannya. Namun, pernyataan tersebut juga harus mengalami penilaian untuk menemukan paduan yang tepat untuk

menerapkan penelitian ini, paduan magnesium memiliki potensial standar elektroda yang relatif rendah, sehingga memiliki sifat logam reaktif. Sifat ini membuatnya cukup rentan dan efektif dalam menahan korosi galvanik. Pengujian eksperimental oleh beberapa peneliti sebelumnya menunjukkan paduan magnesium AZ91D menjadi elemen yang paling tidak poten dibandingkan dengan bahan magnesium lainnya seperti AZ31 dan AZ80[1].

2.2 Peningkatan Ketahanan Paduan Magnesium AZ91D

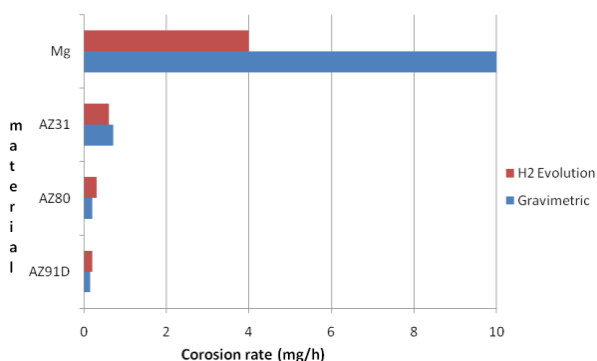
Jika dilihat dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, beberapa upaya yang sedang diupayakan untuk meningkatkan ketahanan korosi Magnesium Alloy AZ91D dapat dilakukan sebagai berikut: (1) Dengan menambahkan bahan kandungan aluminium sebagai pelapis dapat dengan metode pengecatan atau lapisan semprot. Dalam penelitian ini, lapisan paduan aluminium diaplikasikan pada permukaan paduan magnesium AZ91D. Lapisan yang terbentuk dalam serbuk aluminium pada suhu 420oC ditambahkan fase (Mg17Al12). Jenis kurva polarisasi, impedansi AC, perendaman garam dan semprotan garam dilakukan untuk menyelidiki pola korosi dan menilai ketahanan paduan magnesium paduan aluminium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen material yang dilapisi AZ91D jauh lebih tahan korosi dan lebih keras daripada spesimen material yang tidak dilapisi. Jika magnesium ditambahkan dengan paduan aluminium, maka ketahanan korosi yang dihasilkan sesuai dengan kandungan aluminium. Artinya, semakin tinggi kandungan aluminium sebagai anoda korban bersama dengan besarnya (pada anoda korban matriks magnesium yaitu Al-Mn dan Mg17Al12) akan membatasi laju korosi itu sendiri[4].(2) Dengan menambahkan holmium (Ho) sebagai suatu elemen yang dapat berguna untuk meningkatkan ketahanan material magnesium terhadap korosi. Hasil

penelitian menyatakan bahwa pola korosi dua paduan Mg-9AL-Ho (Mg-9AL-0.24Ho dan Mg-9AL-0.44Ho) diuji dengan mengukur korosi umum dan metode elektrokimia pada larutan NaCl jenuh 3,5% dengan Mg(OH)₂. Dari hasil percobaan tersebut selanjutnya dapat dicoba dilakukan uji perbandingan dengan paduan Mg-9AL tanpa tambahan holium (Ho). Beberapa tingkat uji korosi menunjukkan bahwa penambahan Ho meningkatkan ketahanan korosi pada paduan Mg-9AL [7]. Menjadikan beberapa jenis logam sebagai katoda, ada beberapa logam yang dapat digunakan sebagai katoda dalam hal ini antara lain aluminium, baja dan seng. Uji korosi galvanik ini dilakukan dengan paduan magnesium AZ91D yang telah kontak dengan seng, paduan aluminium A380 dan baja 4150. Pengujian menggunakan panel uji yang dirancang khusus dan dirancang untuk mengukur arus galvanik dalam kondisi garam. Sehingga hasil menunjukkan pergerakan distribusi rapat arus galvanik pada benda uji yaitu AZ91D dan pada setiap katoda yang berbeda. Di antara katoda yang digunakan sebagai spesimen, ditemukan bahwa logam baja adalah jenis katoda yang paling buruk dan logam aluminium yang paling agresif untuk AZ91D [8]. Dengan mencoba mempertimbangkan elemen geometris. Dalam penelitian ini, elemen magnesium dikombinasikan dengan material baja untuk menguji pengaruh faktor geometris pada siklus distribusi rapat arus galvanik untuk AZ91D. Pertimbangan dan faktor geometrik yang dapat mengubah laju korosi magnesium alloy AZ91D, yaitu rasio luas anoda/katoda, melindungi isolasi jarak antara anoda dan katoda, kedalaman air laut dalam skenario menjadi solusi yang mencakup area galvanis dan cara interaksi antara dua elemen digunakan [10].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kekuatan magnesium alloy AZ91D pada kapal atau struktur bawah air dilakukan dengan mengumpulkan dan

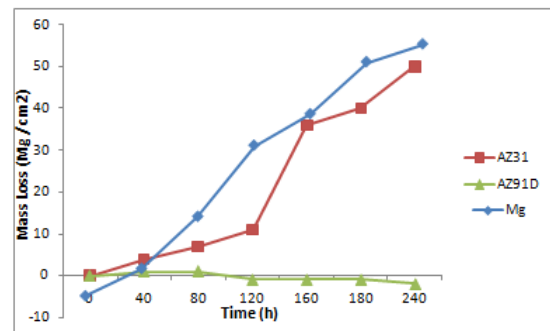
menganalisis hasil penelitian sebelumnya yang menguji bahan ini pada elemen air asin (kadar NaCl tertentu, dan suhu tertentu). Dinyatakan bahwa pola korosi AZ91D menunjukkan ketahanan korosi yang lebih tinggi dengan mengubah mekanisme pengujian (3,5% NaCl) dan 25oC [9]. Namun ada mekanisme perubahan struktur mikro terhadap serangan korosi. Jika ditambah dengan paduan aluminium, ketahanan korosi yang dihasilkan sesuai dengan kandungan aluminium. Artinya, semakin tinggi kandungan aluminium sebagai anoda korban bersama dengan magnesium (anoda magnesium Al-Mn dan Mg17Al12) akan membatasi laju korosi itu sendiri. Berikut hasil uji perbandingan kehilangan massa dan evolusi H₂ pada bahan magnesium yang diuji pada kadar NaCl 3,5% selama 10 hari, lihat gambar 1.



Gambar 1. Diagram uji perbandingan kehilangan massa dan evolusi H₂ pada bahan magnesium yang diuji pada kadar NaCl 3,5% selama 10 hari

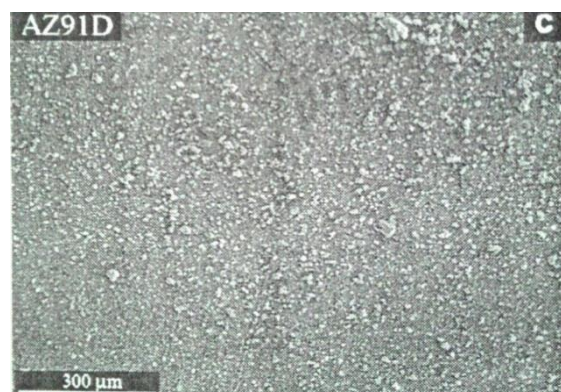
Perbandingan kehilangan massa dan waktu antara logam magnesium ditunjukkan pada gambar 1 berikut. Gambar tersebut menjelaskan bahwa magnesium AZ91D merupakan logam yang paling tahan terhadap korosi galvanik jika dibandingkan dengan sesama unsur magnesium lainnya seperti AZ31 dan AZ80 yang kehilangan massa lebih banyak dalam waktu yang lebih singkat. Pengujian ini menegaskan bahwa magnesium AZ91D relatif lebih layak untuk dipertimbangkan sebagai anoda korban pada

struktur logam yang kontak dengan air laut, lihat gambar 2.



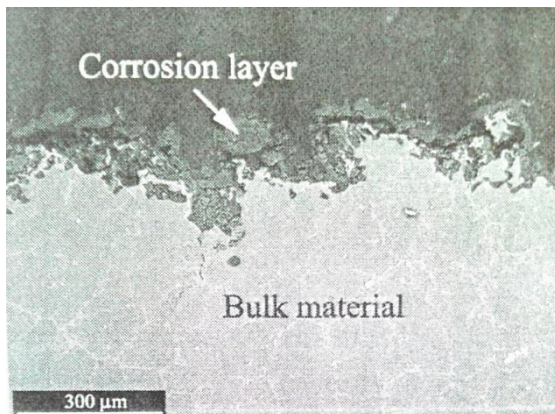
Gambar 2. Diagram uji perbandingan kehilangan massa dan waktu (h)

Berikut adalah tampilan mikrograf pada anoda korban AZ91D yang dicelupkan ke dalam larutan NaCl 3,5 berat wt% selama 10 hari, lihat gambar 3.



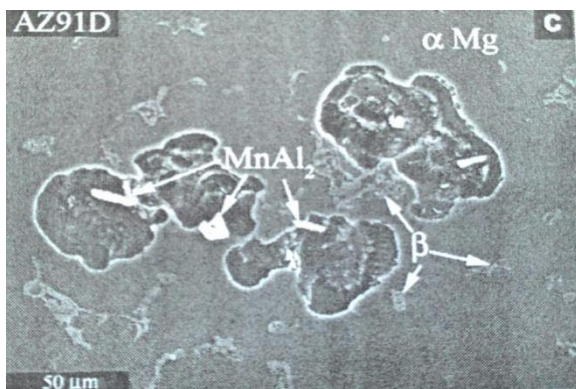
Gambar 3. Foto mikrograf pada anoda korban AZ91D yang dicelupkan ke dalam 3,5 berat wt% NaCl selama 10 hari

Berikut ini ditunjukkan uji penampang atau penampang dan tampilan sinar-X pada Al (aluminium) yang dicampur dalam AZ91D yang dicelupkan ke dalam larutan NaCl 3,5 berat wt% selama 10 hari, gambar 4.



Gambar 4. Uji penampang dan tampilan sinar-X pada Al (aluminium) yang dicampur dalam AZ91D yang dicelupkan ke dalam larutan NaCl 3,5% berat selama 10 hari.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen AZ91D yang dilapisi jauh lebih tahan korosi dan lebih keras daripada spesimen yang tidak dilapisi[9]. Jika magnesium ditambahkan dengan paduan aluminium, maka ketahanan korosi yang dihasilkan sesuai dengan kandungan aluminium. Artinya, semakin tinggi kandungan aluminium sebagai anoda korban bersama dengan besarnya (pada anoda korban matriks magnesium yaitu Al-Mn dan Mg17Al12) akan membatasi laju korosi itu sendiri, lihat gambar 5.



Gambar 5. Mikrograf SEM anoda korban AZ91D yang dicelupkan ke dalam 3,5% berat NaCl selama 2 jam.

Penerapan keseluruhan sistem menunjukkan keunggulan utama dari proteksi katodik yang lebih banyak seperti metode anti

korosi yang merupakan arus rangkaian DC, sehingga efektivitasnya dapat dipantau secara terus menerus. Proteksi katodik biasanya diterapkan pada struktur logam berlapis untuk memberikan kontrol korosi pada area pelapisan yang mungkin rusak. Metode korosi katodik ini dapat diterapkan pada suatu struktur untuk memperpanjang umur logam ketika terkena air laut. Menentukan penggunaan proteksi katodik pada awalnya akan menghindari korosi pada bagian tipis dari struktur yang mungkin mahal dalam perakitan. Selain itu, penggunaan metode proteksi katodik dapat digunakan untuk meningkatkan keamanan terhadap kebocoran logam yang tidak dapat ditoleransi karena alasan keamanan atau lingkungan. Proteksi katodik dapat diterapkan pada setiap struktur logam yang kontak dengan elektrolit curah (termasuk beton). Struktur lain yang umumnya dilindungi oleh proteksi katodik adalah permukaan luar seperti pipa, lambung kapal, tangki penyimpanan, struktur dermaga dan pelabuhan, baja lembaran, pondasi tabung dan tiang lepas pantai, struktur terapung dan bawah air. Secara teoritis, penerapan proteksi katodik pada kapal dan struktur bawah air sangat mungkin[11]. Namun, tidak semua logam cocok digunakan sebagai korban anoda di lingkungan laut. Di lingkungan laut, baik seng (Zinc) dan aluminium cocok, tetapi aluminium memiliki kinerja reaktivasi yang lebih baik. Magnesium tidak cocok untuk digunakan di lingkungan laut. Selain itu, aluminium cocok digunakan sebagai anoda korban di air payau. Logam lain seperti seng dan magnesium tidak cocok untuk digunakan. Sedangkan di air tawar murni, magnesium adalah bahan anoda dengan kinerja terbaik. Sedangkan dalam kondisi air tercemar atau saat perahu sementara berada di air payau, aluminium lebih cocok sebagai anoda korban. Namun, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Mg adalah logam yang paling aktif secara elektrokimia yang digunakan dalam aplikasi teknik, dan dapat dengan mudah terkena korosi di beberapa lingkungan [6]. Dalam lingkungan seperti itu, penerapan

paduan Mg dan Mg dapat diterapkan sebagai pengorbanan anoda pada struktur baja, seperti lambung dan pipa baja. Mg banyak digunakan sebagai anoda korban untuk memberikan perlindungan katodik dari struktur bawah tanah dan logam, kapal, kapal selam, jembatan, dek, pesawat terbang dan sistem transportasi darat.

4. KESIMPULAN

Sekitar kita lingkungan laut, baik seng dan aluminium cocok, tetapi aluminium memiliki kinerja reaktivasi yang lebih baik. Magnesium tidak cocok untuk digunakan di lingkungan laut. Selain itu, aluminium cocok digunakan sebagai anoda korban di air payau. Sedangkan logam lain seperti seng dan magnesium tidak cocok digunakan. Jika di air tawar murni, magnesium cocok dan bahan anoda memiliki kinerja terbaik. Sedangkan dalam kondisi air tercemar atau saat perahu sementara berada di air payau, aluminium lebih cocok sebagai anoda korban.

Tetapi khusus untuk paduan magnesium AZ91D, dapat diterapkan karena kekuatan atau daya tahannya yang lebih tinggi terhadap korosi galvanik. Paduan magnesium AZ91D memiliki daya tahan lebih lama dalam kondisi laut atau salin (NaCl), dengan tingkat kehilangan massa yang relatif lebih rendah. Jadi untuk meningkatkan ketahanan magnesium pada kapal dan struktur bawah air, terutama yang terkena air laut, akan lebih baik untuk spesimen AZ91D yang dilapisi aluminium untuk meningkatkan ketahanan korosi dan lebih keras daripada spesimen yang tidak dilapisi. Tetapi jika magnesium ditambahkan dengan paduan aluminium, ketahanan korosi yang dihasilkan sesuai dengan kandungan aluminium. yang artinya jika semakin tinggi kandungan aluminium sebagai anoda korban bersama dengan besarnya (pada anoda korban matriks magnesium yaitu Al-Mn dan Mg17Al12) akan membatasi laju korosi itu sendiri. Secara umum, penelitian ini menyimpulkan bahwa campuran anoda korban magnesium AZ91D

akan lebih efektif dalam menahan laju korosi jika dicampur dengan anoda lain seperti aluminium dan diaplikasikan pada struktur logam yang terkena air laut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Gurrappa and I. V. S. Yashwanth, "Chapter 2 - The Importance of Corrosion and the Necessity of Applying Intelligent Coatings for Its Control," A. Tiwari, J. Rawlins, and L. H. B. T.-I. C. for C. C. Hihara, Eds. Boston: Butterworth-Heinemann, 2015.
- [2] S. F. Khristyson, I. P. Mulyatno, and A. Trimulyono, "Analisa Kekuatan Konstruksi Internal Ramp Sistem Steel Wire Rope Pada KM. DHARMA KENCANA VIII Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 2, no. 3, 2014.
- [3] Z. Ariany, A. Hendra, and S. Febriary, "Standart Pelayanan Minimal (SPM) DAN Sistem Lasing Pada Kapal Ro-Ro Untuk Keselamatan Transportasi Penyebrangan Laut (Studi Kasus KMP. LEGUNDI)," *GEMA Teknol.*, vol. 20, no. 1, p. 26, Nov. 2018.
- [4] D. Battocchi, G. Bierwagen, A. Stamness, D. Tallman, and A. Simões, "5 - Magnesium-rich primers for chromate-free protective systems on Al 2024 and Al 7075," in *European Federation of Corrosion (EFC) Series*, L. Fedrizzi, H. Terry, and L. B. T.-I. P.-T. T. to P. C. of M. S. Simões, Eds. Woodhead Publishing, 2007.
- [5] D. Orlov, K. D. Ralston, N. Birbilis, and Y. Estrin, "Enhanced corrosion resistance of Mg alloy ZK60 after processing by integrated extrusion and equal channel angular pressing," *Acta Mater.*, vol. 59, no. 15, pp. 6176–6186, Sep. 2011.

- [6] R. Zeng, K. U. Kainer, C. Blawert, and W. Dietzel, "Corrosion of an extruded magnesium alloy ZK60 component—The role of microstructural features," *J. Alloys Compd.*, vol. 509, no. 13, pp. 4462–4469, Mar. 2011.
- [7] H. R. B. Rad, M. H. Idris, M. R. A. Kadir, and S. Farahany, "Microstructure analysis and corrosion behavior of biodegradable Mg–Ca implant alloys," *Mater. Des.*, vol. 33, pp. 88–97, Jan. 2012.
- [8] H. R. Bakhsheshi-Rad, M. R. Abdul-Kadir, M. H. Idris, and S. Farahany, "Relationship between the corrosion behavior and the thermal characteristics and microstructure of Mg–0.5Ca–xZn alloys," *Corros. Sci.*, vol. 64, pp. 184–197, Nov. 2012.
- [9] Y. Song, E.-H. Han, D. Shan, C. D. Yim, and B. S. You, "The effect of Zn concentration on the corrosion behavior of Mg–xZn alloys," *Corros. Sci.*, vol. 65, pp. 322–330, Dec. 2012.
- [10] H. Bohnes and G. Franke, "6 - Galvanic (Sacrificial) Anodes," W. von Baeckmann, H. Bohnes, G. Franke, D. Funk, C. Gey, H. Gräfen, G. Heim, V. Heinzelmann, K. Horras, B. Isecke, H. Kampermann, B. Leutner, H.-U. Paul, F. Paulekat, W. Prinz, B. Richter, G. Rieger, H. G. Schöneich, and W. B. T.-H. of C. C. P. (Third E. Schwenk, Eds. Burlington: Gulf Professional Publishing, 1997, pp. 179–206.
- [11] K. A. Chandler, "1 - Introduction: The control of corrosion in marine environments," in *Marine Engineering Series*, K. A. B. T.-M. and O. C. Chandler, Ed. Butterworth-Heinemann, 1985.
- [12] G.-L. Song and Z. Xu, "Effect of microstructure evolution on corrosion of different crystal surfaces of AZ31 Mg alloy in a chloride containing solution," *Corros. Sci.*, vol. 54, pp. 97–105, Jan. 2012.
- [13] R. Ambat, N. N. Aung, and W. Zhou, "Evaluation of microstructural effects on corrosion behaviour of AZ91D magnesium alloy," *Corros. Sci.*, vol. 42, no. 8, pp. 1433–1455, Aug. 2000.