

Pengujian Komposisi Logam Aluminium Anoda Pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) Menggunakan Instrumen ICP-OES

Testing the Aluminium Anode Metal Composition on the Warship of the Republic of Indonesia (KRI) Using the ICP-OES Instrument

Nur Rizka Aprilia* dan I Gusti Made Sanjaya

Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang Surabaya, 60231, Indonesia

*corresponding author: nur.20054@mhs.unesa.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menguji komposisi logam aluminium anoda pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) menggunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer* (ICP-OES). Proses analisis pada logam aluminium anoda diawali dengan preparasi sampel anoda hingga menjadi larutan yang homogen. Proses tersebut dilakukan dengan metode destruksi basah agar dapat menentukan unsure logam yang terkandung dalam sampel. Pengujian sampel aluminium anoda sebagai proteksi katodik dilakukan dengan cara menguji kadar logamnya menggunakan instrumen ICP-OES. Kemudian hasil pengujian dibandingkan dengan spesifikasi US Mil A-24779 (SH) untuk mendapatkan hasil bahwa anoda yang diuji layak digunakan sebagai perlindungan katodik pada kapal. Komposisi logam kimia pada aluminium anoda yang diuji yakni tembaga (Cu), besi (Fe), Indium (In), merkuri (Hg), seng (Zn), dan aluminium (Al). Hasil pengujian sampel Aluminium Anoda menggunakan instrumen ICP-OES yang didapatkan memenuhi spesifikasi US Mil A-24779 (SH).

Kata-kata kunci: komposisi, logam, aluminium anoda, destruksi, ICP-OES.

Abstract. *This research aims to test the composition of the aluminum anode metal on the Republic of Indonesia Warship (KRI) using the Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) instrument. The analysis process for aluminum anode metal begins with preparing the anode sample until it becomes a homogeneous solution. This process is carried out using the wet digestion method in order to determine the metal elements contained in the sample. Testing of aluminum anode samples for cathodic protection was carried out by testing the metal content using the ICP-OES instrument. Then the test results are compared with the US Mil A-24779 (SH) specifications to determine that the tested anode is suitable for use as cathodic protection on ships. The chemical metal composition of the aluminum anode tested was copper (Cu), iron (Fe), indium (In), mercury (Hg), zinc (Zn), and aluminum (Al). The results of testing the aluminum anode sample using the ICP-OES instrument were found to meet the US Mil A-24779 (SH) specifications.*

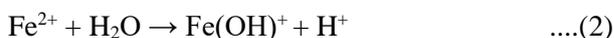
Keywords: composition, metal, aluminum anode, digestion, ICP-OES.

1. Pendahuluan

Korosi adalah suatu penurunan mutu atau proses degradasi dari suatu logam yang disebabkan oleh reaksi kimia akibat pengaruh lingkungan dan sekitarnya [7]. Reaksi korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi pada daerah katoda dan anoda dengan membentuk rangkaian arus tertutup [12]. Proses korosi terjadi reaksi antara ion-ion dan elektron yang sebagian besar banyak menyerang peralatan dengan bahan dasar penyusunnya dari besi (Fe) karena besi memiliki mineral yang tersebar luas dalam jumlah yang banyak. Dimana salah satu bahan utama pembuatan

konstruksi Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) yaitu besi. Dampak yang ditimbulkan dari peristiwa korosi ini yakni pengurangan atau oksidasi besi, hal tersebut bersifat merugikan bagi struktur kapal.

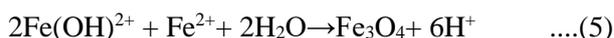
Proses terjadinya korosi dapat diuraikan melalui persamaan reaksi sebagai berikut:



Persamaan reaksi (1) merupakan reaksi hidrolisis secara umum. Adanya proses hidrolisis dapat mengakibatkan keasaman meningkat [5]. Pada persamaan (2) terjadi reaksi oksidasi dengan adanya oksigen terhadap besi, sehingga terbentuk ion-ion besi.



Dari persamaan (2) kemudian diuraikan seperti persamaan (3). Terjadi persamaan (4) yakni reaksi hidrolisis yang menyebabkan larutan semakin asam. Selanjutnya dapat diuraikan reaksi dari ion-ion kompleks sehingga terbentuk hasil korosi utama yaitu magnetit dan karat, berturut-turut dinyatakan dengan rumus Fe_3O_4 dan $FeO(OH)$. Persamaan reaksi-reaksi tersebut pada persamaan (5) dan persamaan (6).



Proses terjadinya korosi secara kimiawi terdiri dari reaksi anodik dan reaksi katodik (reaksi reduksi–oksidasi), jika salah satu reaksi terjadi maka timbul korosi. Berikut empat unsur yang dapat menyebabkan terjadinya korosi [5]:

a. Elektrolit, media terjadinya reaksi katoda dan anoda.

Adanya larutan elektrolit berfungsi sebagai media penghantar listrik. Agar terjadi reaksi maka dibutuhkan elektrolit guna menghantarkan arus dari anoda menuju katoda.

b. Katoda, terjadinya reaksi reduksi

Terjadinya reaksi katodik pada permukaan katoda disebabkan oleh adanya katoda yang menerima elektron. Hal ini dikarenakan elektron yang berada di permukaan katoda akan bereaksi dengan ion positif dari elektrolit.

c. Anoda, terjadinya reaksi oksidasi.

Terjadinya aliran arus listrik disebabkan adanya beda potensial. Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah sedangkan elektron bergerak berlawanan arah dengan arus listrik. Potensial anoda lebih negatif dibandingkan dengan potensial katoda, sehingga elektron dari anoda mengalir melalui kontak metalik menuju anoda.

d. Adanya kontak metalik.

Elektron dapat mengalir dari anoda menuju anoda dengan adanya kontak antara anoda dan katoda. Elektron hanya dapat mengalir melalui kontak metalik dan tidak dapat mengalir di dalam elektrolit.

Adanya proses korosi yang terjadi pada kapal maka diperlukan perlindungan katodik agar dapat mengendalikan terjadinya korosi. Katodik adalah teknik yang digunakan untuk mengendalikan korosi pada permukaan logam dengan menjadikan permukaan logam tersebut sebagai katoda dari sel volta [9]. Proteksi katodik merupakan proses pengendalian laju korosi pada permukaan logam yang disebabkan oleh polarisasi katodik [5]. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara yakni menggunakan metode *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) dan metode *Sacrificial Anode Cathodic Protection* (SACP) atau anoda korban. Metode ICCP merupakan perlindungan

katodik pada material baja dengan cara memberikan elektron menggunakan sumber arus listrik dari luar sistem. Metode SACP merupakan perlindungan dengan cara galvanis *coupling* dimana logam yang diproteksi akan digabungkan dengan logam yang lebih anodik [1]. Pada penelitian ini menggunakan proteksi katodik dengan metode SACP atau anoda korban jenis aluminium anoda.

Aluminium merupakan salah satu jenis material logam non-ferro yang sering dan banyak digunakan dalam bidang aplikasi di dunia industri [8]. Logam anoda yang digunakan pada kapal adalah logam campuran aktif yang bekerja untuk melindungi permukaan besi kapal dari proses pengorangan. Pada umumnya aluminium anoda digunakan pada lingkungan air laut. Namun juga dapat digunakan pada beberapa kondisi air tawar [11].



Gambar 1. Aluminium anoda pada KRI (Dokumentasi pribadi, 2023)

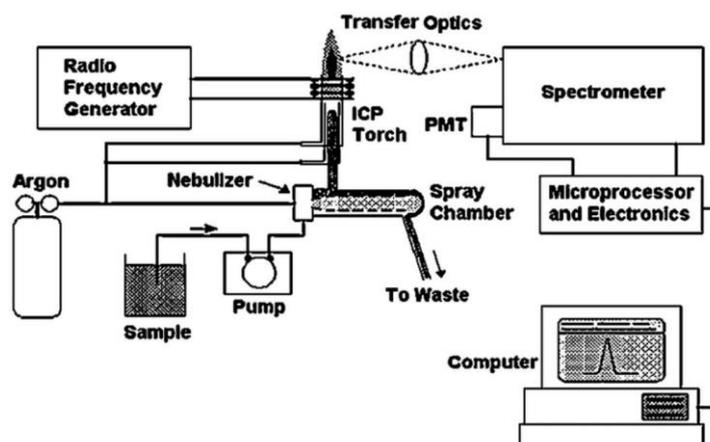
Penggunaan aluminium sebagai anoda memiliki beberapa kelebihan yakni harga relatif murah, tingkat korosi yang rendah, kepadatan daya tinggi, ketersediaan melimpah, memiliki kinerja elektrokimia yang sangat baik, dan memiliki potensial elektroda tinggi sebesar -1.66 V [16]. Selain itu, aluminium anoda memiliki bobot yang lebih ringan dan kapasitas elektron yang jauh lebih tinggi dari seng (Zn). Berikut merupakan dasar pemilihan anoda korban dan dilengkapi dengan data berdasarkan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yakni seperti Tabel 1:

Tabel 1. Dasar pemilihan anoda korban[4]

Sifat	Anoda Korban Paduan	Anoda Korban Paduan
	Zn	Al
Massa jenis (kg/dm ³)	7,50	2,70
Potensial elektroda (V)	-0,76	-1,66
Tegangan dorong (V)	0,25	0,25
Kapasitas (Ah/kg)	780	2700
Efisiensi (%)	95	50 - 95

Aluminium anoda yang akan digunakan sebagai perlindungan katodik pada kapal diuji komposisi logamnya menggunakan instrumen ICP-OES. Instrumen ICP-OES merupakan teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi unsur kimia logam dengan mengemisikan spektroskopi yang menggabungkan plasma secara induktif untuk menghasilkan atom dan ion tereksitasi yang memancarkan radiasi elektromagnetik pada karakteristik panjang gelombang unsur tertentu [13]. Instrumen ICP menggunakan sepasang induksi, yaitu induksi medan magnet dan medan listrik sebagai sumber energi untuk mengeksitasi electron dari atom-atom yang ada dalam sampel. Adanya gabungan dua buah induksi (*coupled*) ini dapat membentuk medan magnet dengan frekuensi yang tinggi. Sehingga atom-atom dalam sampel dapat tereksitasi ke beberapa macam tingkat energi elektron yang lebih tinggi. Gabungan elektron-elektron yang tereksitasi akan membentuk awan-awan elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi kemudian akan kembali ke

dasar bersamaan dengan melepaskan energi yang berupa sinar. Sinar yang dilepaskan masuk ke spektrofotometer dan didispersikan menjadi spektrum garis yang spesifik oleh *grating* untuk masing-masing atom atau ion [2].



Gambar 2. Prinsip kerja instrumen ICP-OES [2]

Kelebihan instrumen ICP-OES yakni dapat memberikan hasil dengan ketelitian yang tinggi, dapat menganalisis logam-logam dengan waktu yang singkat, dapat menganalisis sampel dengan sensitivitas yang tinggi, dan operasional penggunaan instrumen ICP dapat dikatakan aman dikarenakan menggunakan gas argon [13]. Dimana gas argon yang merupakan gas yang tidak mudah meledak karena memiliki elektron yang stabil. Selain itu, batas deteksi pada instrumen ICP umumnya rendah untuk sebagian besar elemen dengan kisaran 1-100 g/L. Analisis multi elemen lengkap dapat dilakukan dalam waktu sesingkat 30 detik hanya dengan menggunakan cuplikan 0,5 mL larutan sampel. Hampir dari semua unsur dapat dianalisis dengan ICP kecuali unsur argon (Ar) dikarenakan argon yang sifatnya sulit untuk membentuk ionnya, sehingga argon dijadikan sebagai gas pembawa [14].

Dalam penelitian ini akan dilaporkan hasil pengujian komposisi logam aluminium anoda pada Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) menggunakan instrumen ICP-OES. Komposisi logam kimia pada aluminium anoda yang diuji yakni tembaga (Cu), besi (Fe), Indium (In), merkuri (Hg), seng (Zn), dan aluminium (Al). Hasil dari pengujian sampel menggunakan instrumen ICP-OES dibandingkan dengan spesifikasi US. Mil A-24779 (SH) untuk mengetahui kandungan komposisi logam sampel sesuai antara hasil yang diperoleh dengan nilai spesifikasi.

2. Bahan dan Metode

2.1 Alat yang digunakan

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu bor listrik, kaca arloji, spatula, timbangan analitik, gelas kimia 50 mL, labu ukur 100 mL, pipet ukur 1 mL, pipet ukur 20 mL, pipet tetes, bulb, *hot plate*, *magnetic stirrer*, dan instrumen ICP-OES Varian 715-ES.

2.2 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu logam alloy aluminium anoda dari salah satu KRI sebagai sampel yang akan diuji, NaOH padat, aquades, larutan HCL 1%, HCL pekat, HNO₃ 65% pekat, dan H₂O₂ pekat.

2.3 Tahap pengambilan sampel

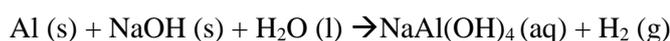
Sampel aluminium bentuk batangan yang berwarna putih keabu-abuan mengkilap. Sampel diambil sebanyak 10% dari total anoda yang akan digunakan pada lambung kapal. Langkah pertama yang dilakukan yakni sampel alloy aluminium dibersihkan menggunakan larutan asam HCl 1% dan kain bersih. Kemudian dibersihkan menggunakan aquades dan kain bersih.

Selanjutnya permukaan sampel alloy aluminium dilakukan pengeboran pada beberapa bagian agar mendapatkan sampel berupa serbuk kasar aluminium alloy. Serta mata bor yang digunakan tidak mengandung besi yang dapat tercampur dengan serbuk kasar hasil pengeboran sehingga menyebabkan hasil dari sampel yang dianalisis. Serbuk kasar sampel alloy aluminium anoda hasil pengeboran kemudian dimasukkan ke dalam kantong plastik klip yang telah diberi label sesuai kode.

2.4 Tahap preparasi sampel

Sampel yang akan diuji kadar logamnya menggunakan instrumen ICP harus dalam fase larutan. Sebuah ICP mensyaratkan bahwa unsur yang dianalisis untuk berfase larutan yang homogen. Sampel tidak diperbolehkan berbentuk padat, karena dapat menyebabkan penyumbatan pada instrumen ICP [13]. Oleh karena itu, preparasi sampel dipersiapkan dalam bentuk larutan. Preparasi pelarutan sampel dilakukan dengan proses destruksi dimana destruksi adalah perlakuan yang berfungsi untuk pemecahan senyawa hingga menjadi unsur-unsurnya sehingga dapat dilakukan analisis. Destruksi yang digunakan dalam penentuan kadar logam ialah destruksi basah. Destruksi basah digunakan dalam menentukan unsur-unsur yang konsentrasinya rendah.

Serbuk kasar sampel alloy aluminium anoda yang telah didapatkan kemudian ditimbang sebanyak 0,1 gram menggunakan neraca analitik. Lalu sampel yang telah ditimbang tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL yang telah diberi label kode. Setelah itu, menimbang padatan NaOH berwarna putih sebanyak 0,8 gram menggunakan neraca analitik. Lalu padatan NaOH yang telah ditimbang ditambahkan ke dalam gelas kimia. Kemudian ditambahkan aquades tidak berwarna sebanyak 10 mL ke dalam gelas kimia. Reaksi kimia yang terjadi yaitu:



Setelah itu, campuran dipanaskan dengan *hot plate* hingga seluruh padatan NaOH larut dengan sempurna. Selanjutnya larutan sampel didinginkan hingga suhu ruang. Setelah sampel sudah tidak panas, kemudian ditambahkan dengan larutan HCl pekat tidak berwarna sebanyak 3 mL. Lalu ditambahkan larutan HNO₃ 65% pekat tidak berwarna sebanyak 0,4 mL. Reaksi kimia yang terjadi yaitu:



Langkah selanjutnya yaitu ditambahkan dengan larutan H₂O₂ pekat sebanyak 0,4 mL. Selanjutnya pengenceran dengan cara campuran sampel dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aquades hingga tanda batas. Lalu sampel di homogenkan menggunakan *magnetic stirrer*. Sampel yang sudah dilarutkan kemudian diuji menggunakan instrumen ICP-OES.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengujian sampel dilakukan menggunakan instrumen ICP-OES. Sampel aluminium anoda yang telah dipreparasi hingga berfase larutan kemudian dianalisis menggunakan instrumen ICP-OES untuk mengetahui kadar unsur-unsur yang terkandung dalam sampel aluminium anoda. Pada Tabel

2 merupakan hasil yang didapatkan dari pengujian sampel aluminium anoda pada *software* ICP-OES.

Tabel 2. Hasil pengujian sampel aluminium anoda

Sampel	Label	Cale Conc.	Units
AL 2,3 16/Kim	Al 309.271	374.654	mg/L
	Cu 324.754	-0.064367	mg/L
	Fe 238.204	0.263872	mg/L
	Zn 213.857	47.8469	mg/L
	In 230.606	0.156110	mg/L
	Hg 253.652	-0.027935	mg/L

Data yang diperoleh dari hasil uji instrumen ICP-OES kemudian dikonversikan terlebih dahulu dikarenakan satuan dalam spesifikasi US Mil A-24779 (SH) berupa persen (%) sehingga hasil pada data Tabel 2 perlu diolah menjadi satuan persen (%) seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sampel dengan instrumen ICP-OES menurut spesifikasi US. MilA-24779 (SH)

No.	Parameter	Spesifikasi (%)	Hasil Pengujian (%) Al 16/Kim	Keterangan
1.	Cu	Maks 0,004	Trace	Memenuhi
2.	Fe	Maks 0,090	0,0264	Memenuhi
3.	In	0,014 – 0,020	0,0156	Memenuhi
4.	Hg	Maks 0,001	Trace	Memenuhi
5.	Zn	4,0 – 6,5	4,7847	Memenuhi
6.	Al	Reminder	Reminder	Memenuhi

Dari hasil uji pada Tabel 3 menunjukkan bahwa tembaga (Cu) dan merkuri (Hg) pada sampel aluminium anoda memiliki nilai yang konsentrasi “Trace” atau bernilai sangat kecil sehingga memenuhi spesifikasi US. Mil A-24779 (SH) dikarenakan masih berada di bawah batas maksimal 0,004% pada tembaga dan di bawah batas maksimal 0,001% pada merkuri. Tembaga dapat dikatakan logam yang tahan terhadap korosi walaupun dalam kondisi tertentu juga mengalami korosi. Hal ini dapat disebabkan karena tembaga merupakan oksidator yang kuat memiliki nilai potensial reduksi standar yang bernilai positif, oleh karena itu konsentrasi tembaga dalam sampel aluminium anoda tidak boleh terlalu tinggi karena tembaga memiliki nilai potensial reduksi yang lebih positif daripada besi. Selain itu, konsentrasi tembaga dan merkuri yang terkandung dalam aluminium anoda terlalu tinggi maka dapat mengurangi proteksi katodik. Pada penelitian Afriani et al. (2014) menggunakan metode uji celup bahwa konsentrasi tembaga dan merkuri yang terlalu tinggi juga dapat mempengaruhi arus galvanik yang dihasilkan pada logam anoda yakni akan semakin kecil nilainya.

Kandungan besi (Fe) yang terdapat pada sampel aluminium anoda sebesar 0,0264% dimana nilai tersebut memenuhi nilai spesifikasi US. Mil A-24779 (SH) yaitu di bawah nilai maksimal 0,090%. Besi memiliki potensial elektroda standar yang bernilai negatif sehingga dapat melindungi spesimen yang lebih positif dengan melakukan pertukaran ion. Spesimen tersebut dapat membentuk lapisan yang mengganggu proses masuknya oksigen ke permukaan katoda sehingga dapat memperlambat terjadinya korosi. Sehingga besi mampu memproteksi katoda dengan baik dibandingkan tembaga dan merkuri.

Kandungan indium (In) yang terdapat pada sampel aluminium anoda sebesar 0,0156% dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi US. Mil A-24779 (SH) yaitu diantara 0,014 – 0,020%.

Kandungan indium baik digunakan sebagai campuran aluminium anoda dikarenakan aluminium anoda tidak digunakan dalam keadaan murni, karena dapat membentuk lapisan yang pasif sehingga indium digunakan untuk memperbaiki kinerja aluminium anoda serta mampu membantu proteksi katodik dengan baik.

Kandungan seng (Zn) yang terdapat pada sampel aluminium anoda sebesar 4,7847% dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi US. Mil A-24779 (SH) yaitu diantara 4,0 – 6,5%. Unsur seng memiliki potensial elektroda standar yang bernilai negatif yang mampu menghambat masuknya oksigen ke permukaan katoda sehingga dapat memperlambat proses korosi yang terjadi pada lambung kapal. Hal tersebut dikarenakan adanya unsur seng dapat mencegah pembentukan lapisan pasif yang ada pada permukaan aluminium sehingga lapisan pasif tersebut dapat mencegah terjadinya korosi pada aluminium. Selain itu, adanya unsur seng pada anoda korban aluminium juga dapat meningkatkan elektronegativitas sehingga peningkatan tersebut membantu mendorong elektron lebih banyak ke sistem SACP yang menyebabkan arus yang dilepaskan oleh anoda akan semakin besar menyebabkan proteksinya semakin baik [6]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rahman, A. (2020) bahwa adanya unsur seng dapat berfungsi sebagai aktivator sehingga menyebabkan kenaikan laju korosi pada anoda korban aluminium.

Kandungan aluminium (Al) yang terdapat pada sampel aluminium anoda memiliki nilai konsentrasi bernilai “Reminder” atau bernilai sangat tinggi sehingga memenuhi spesifikasi US. Mil A-24779 (SH). Komposisi aluminium memiliki nilai konsentrasi tinggi karena mengandung paduan aluminium yang dominan. Nilai potensial elektroda standar aluminium yang bernilai negatif berfungsi untuk mengisolasi logam dan dapat melindungi secara galvanik sehingga menjadi katodik dengan baik. Aluminium berperan penting sehingga harus memiliki kandungan yang tinggi pada aluminium anoda karena dapat berpengaruh pada proteksi katodik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Unggul et al. (2018) bahwa unsur aluminium mempengaruhi nilai laju korosi dan nilai kekerasan pada aluminium anoda, semakin meningkatnya penambahan unsur aluminium maka semakin bertambah juga nilai laju korosi dan nilai kekerasan aluminium anoda.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dapat disimpulkan bahwa pengujian komposisi sampel logam aluminium anoda sebagai proteksi katodik menggunakan instrumen ICP-OES yang didapatkan memenuhi spesifikasi US Mil A-24779 (SH). Hal ini bahwa sampel aluminium anoda yang diuji layak digunakan sebagai perlindungan katodik pada kapal. Komposisi logam aluminium yang diuji antara lain yakni tembaga (Cu), besi (Fe), Indium (In), merkuri (Hg), seng (Zn), dan aluminium (Al).

Daftar Pustaka

- [1] Afriani S, F., Komalasari, & Zultinlar. (2014). Proteksi Katodik Metoda Anoda Tumbal Untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jom FTEKNIK*, 1 (2).
- [2] Alwathan, R. H. (2022). *Optimasi Batu Bara Pada Pembersihan Logam Limbah Oli Mesin*. Malang: Literasi Nusantara Abadi.
- [3] Hermawan, H. (2019). *Pengantar Proteksi Katodik*. Canada: Laval University.
- [4] Ilham, R., Komalasari, & Irianty, R. S. (2015). Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Korban pada Struktur Baja Karbon dalam Larutan Natrium Klorida. 2.
- [5] Karyono, T., Budianto, & Pamungkas, R. G. (2017). Analisis Teknik Pencegahan Korosi Pada Lambung Kapal Dengan Variasi Sistem Pencegahan ICCP Dibandingkan dengan SACP. *Jurnal Pendidikan Profesional*, 6 (1).
- [6] Khan, B. R. (2017). Effect of zinc addition on the performance of aluminium alloy sacrificial anode for marine application. AIP Conference Proceedings.

- [7] Mardiah, Novianti, & Fadilah. (2018). Studi Laju Korosi Logam Aluminium Dalam Larutan Asam Dengan Penambahan Ekstraksi Daun Karamunting Sebagai Inhibitor. *24* (2).
- [8] Ponco, R., Siahaan, E., & Darmawan, S. (2016). Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (Al - Si) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *POROS*, *14* (1), 49-56.
- [9] Putra, Candra, & Permana. (2017). Penggantian Zinc Anode pada kapal KM. LABORAR.
- [10] Rahman, A. (2020). Pengaruh Kadar Seng (Zn) pada Anoda Korban Aluminium terhadap Struktur Mikro dan Karakteristik Proteksi. Surabaya: Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Sudjasta, B., Suranto, J. P., & Setiani, H. (2018). Analisis Kebutuhan Pemasangan Zink Anode Untuk Mencegah Korosi Pada Lambung Kapal Kapal General Cargo. *Bina Teknika*, *14* (2), 209-215.
- [12] Sunarto, & Septian, D. (2015). Analisa Kebutuhan Anoda Korban Seng Pada Plat Bottom Kapal di PT. Indonesia Marina Shipyard. *Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik*, *04* (01), 92-108.
- [13] Syarbaini. (2015). Teknologi ICP MS dan Aplikasinya Untuk Studi Radioaktivitas Lingkungan.
- [14] Thomas, S. N. (2020). *Contemporary Practice in Clinical Chemistry* (Fourth Edition ed ed.). London: Academic Press.
- [15] Unggul, H. M., Ardhyanta, H., & Wibisono, A. T. (2018). Analisis Pengaruh Komposisi Aluminium (Al) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi Anoda Tumbal Berbasis Seng (Zn) untuk Kapal dengan Metode Pengecoran. *Jurnal Teknik ITS*, *7* (2).
- [16] Zakaria. (2018). Studi Pemanfaatan Aluminium Sebagai Anoda Untuk Energi Listrik Alternatif Tenaga Air Laut Pada Penerangan Kapal Nelayan. In Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.