ANALISIS LAJU KOROSI ELEKTRODE BAHAN Cu-Zn DENGAN METODE *SACRIFICIAL ANODE* PADA SISTEM ENERGI LISTRIK ALTERNATIF BERBASIS AIR LAUT

(Skripsi)

Oleh

Latifah Kamalia

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

ABSTRAK

ANALISIS LAJU KOROSI ELEKTRODE BAHAN Cu-Zn DENGAN METODE *SACRIFICIAL ANODE* PADA SISTEM ENERGI LISTRIK ALTERNATIF BERBASIS AIR LAUT

Oleh

LATIFAH KAMALIA

Pada penelitian ini, telah dilakukan penambahan logam aluminium (Al) dan magnesium (Mg) pada elektrode zink (Zn) sebagai anode korban pada sistem energi listrik alternatif berbasis air laut. Metode anode korban digunakan sebagai salah satu cara dalam mencegah terjadinya korosi elektrode Zn. Terdapat 3 macam perlakuan elektrode, yaitu Cu-Zn, Cu-ZnAl, dan Cu-ZnMg. Alat didesain memiliki 20 sel yang tersusun secara seri dan diberi beban lampu LED berukuran 3 Watt. Pengujian alat dilakukan selama 72 jam dengan penggantian elektrolit setiap 24 jam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa elektrode Cu-ZnMg menghasilkan keluaran daya yang paling tinggi dan laju korosi zink paling rendah dibandingkan elektrode Cu-Zn dan Cu-ZnAl. Nilai maksimum daya dari elektrode Cu-ZnMg sebesar 125,71 mW sedangkan elektrode Cu-Zn dan Cu-ZnAl memiliki nilai maksimum daya masing-masing sebesar 49,49 mW dan 52,48 mW. Nilai keluaran daya juga berpengaruh terhadap intensitas cahaya, dimana semakin besar daya yang dikeluarkan, maka intensitas cahaya semakin tinggi. Nilai laju korosi yang dihasilkan oleh elektrode Zn dengan anode korban Mg sebesar 0,079 mm/tahun setelah 72 jam pengujian dengan persentase penurunan laju korosi sebesar 23,74 %. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan logam anode korban dengan nilai potensial elektrode yang lebih tinggi dapat menghasilkan energi listrik yang lebih tinggi dan lama serta laju korosi logam zink yang lebih rendah.

Kata Kunci: anode korban, magnesium, aluminium.

ABSTRACT

ANALYSIS CORROSION RATE OF Cu-Zn ELECTRODE WITH SACRIFICIAL ANODE METHODE ON ALTERNATIVE ENERGY SYSTEM BASED SEAWATER ELECTROLYTE

By

LATIFAH KAMALIA

In this research, the addition of aluminum (Al) and magnesium (Mg) at the zinc (Zn) electrode as the sacrifice anode in an alternative sea-based electrical energy system was carried out. The sacrifice anode method was used as a way to prevent the corrosion of Zn electrodes. There were 3 types of electrode treatments, namely Cu-Zn, Cu-ZnAl, and Cu-ZnMg. The tool was designed to have 20 cells arranged in series and given a load of 3 Watt LED lights. Tool testing was carried out for 72 hours with electrolyte replacement every 24 hours. The measurement result showed that the Cu-ZnMg electrode produced the highest power output compared to the Cu-Zn and Cu-ZnAl electrodes. The maximum value of power from the Cu-ZnMg electrode was 125.71 mW while the electrodes of Cu-Zn and Cu-ZnAl have maximum power values of 49.49 mW and 52.48 mW respectively. The value of the intensity of the light generated from the instrument showed that the greater the power released, the higher the intensity of light. The lowest corrosion rate was generated by the Cu-ZnMg electrode of 0.079 mm/year after 72 hours of testing. The Zn-Mg electrode had the highest decreasing of corrosion rate by 23.74 %. This showed that the addition of sacrificial anode metal with a higher potential electrode value can produce higher and longer electrical energy and a lower corrosion rate.

Keywords*: sacrifice anode, magnesium, aluminium.*

ANALISIS LAJU KOROSI ELEKTRODE BAHAN Cu-Zn DENGAN METODE *SACRIFICIAL ANODE* PADA SISTEM ENERGI LISTRIK ALTERNATIF BERBASIS AIR LAUT

Oleh

LATIFAH KAMALIA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

Judul Skripsi : **Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu-Zn dengan Metode *Sacrificial Anode* pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut**

Nama Mahasiswa : *Latifah Kamalia*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1417041046

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.	**Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.**
NIP. 19801010 200501 1 002	NIP. 19710829 199703 2 001

2. Ketua Jurusan Fisika

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.** .....

Sekretaris : **Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D.
NIP 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **23 Januari 2019**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis dan diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sangsi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 23 Januari 2019

METERAI TEMPEL
77184AFF514828217
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Latifah Kamalia
NPM. 1417041046

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Banjar Negeri pada tanggal 30 Juli 1995, anak pertama dari pasangan Bapak Dalimi dan Ibu Siti Amanah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 2 Candimas pada tahun 2007, SMP Negeri 1 Natar pada tahun 2010, dan MA As-Salam Sungai Lilin pada tahun 2014. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2014. Selama menempuh pendidikan penulis pernah menjadi asisten praktikum Sains Dasar, Fisika Dasar 1, Elektronika Dasar I & II, Fisika Eksperimen, Fisika Komputasi, Optika, Elektronika Digital, Sistem Pengaturan, Mikrokontroler, dan Sensor dan Transduser. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di RSUD dr. H. Abdul Moeloek Prov. Lampung pada tahun 2016 dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Merbau Mataram Kec. Merbau Mataram Kab. Lampung Selatan pada tahun 2017. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, antara lain Anggota Bidang Dana dan Usaha HIMAFI FMIPA tahun 2015/2016, dan Sekretaris Bidang Sains dan Teknologi HIMAFI FMIPA tahun 2016. Penulis menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu-Zn dengan Metode *Sacrificial Anode* pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut”.

MOTTO

"Man jadda wajada"

Maka bersabarlah engkau dengan kesabaran yang baik

(Al-Ma'arij: 5)

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan

(Asy-Syarh: 6)

Skripsi ini ku persembahkan kepada:

Ibunda dan ayahanda
yang telah mengurus dan mendidik penulis dari kecil hingga dewasa

Adik-adik ku serta keluarga
yang selalu memberi nasihat dan dorongan kepada penulis

Serta almamater tercinta
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu-Zn dengan Metode *Sacrificial Anode* pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut".

Skripsi ini dilaksanakan dari bulan Mei 2019 sampai bulan Agustus 2019 bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung. Penekanan dalam skripsi ini adalah dihasilkannya elektrode Cu-Zn yang lebih tahan korosi dan keluaran energi listrik sel volta yang lebih lama.

Penulis menyadari bahwa penyajian skripsi ini masih banyak kekurangan dalam penulisan maupun referensi data. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi rujukan untuk penelitian berikutnya agar lebih sempurna.

Bandar Lampung, 23 Januari 2019

Penulis

SANWACANA

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul "Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu-Zn dengan Metode *Sacrificial Anode* pada Sistem Energi listrik Alternatif Berbasis Air Laut".

Penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian tidak lepas dan dukungan, bimbingan, motivasi serta do'a dan pihak lain. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Yang tercinta, Ayah dan Ibu, yang selalu memberikan kasih sayang yang tak terhingga kepada penulis.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberi ilmu wawasan dan bimbingan kepada penulis.
3. Ibu Sri Wahyu Suciyati, S.Si. M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing penulis selama penelitian.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Penguji yang senantiasa memberi saran kepada penulis dalam melakukan penelitian.
5. Bapak Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing akademik atas bimbingannya kepada penulis selama masa kuliah.

6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Seluruh Dosen serta Staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Teman seperjuangan, Ketrin Chintia Rizki, terima kasih atas kebaikan, dukungan, kerja sama, semangat dan persahabatannya.
10. Sahabat – sahabatku, Mey, Nina, Aning, Mega, April, Isti, Rani, Hesti, Aftiyah, dan #SahabatHimafi yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan Fisika 2014, kakak-kakak tingkat, serta adik-adik tingkat yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
12. Serta semua pihak yang tidak penulis cantumkan, yang telah memberikan bantuan moril maupun materiil kepada penulis.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya, serta memberkahi hidup kita. Aamiin.

Bandar Lampung, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

COVER DALAM ..... **iii**

HALAMAN PERSETUJUAN ..... **iv**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **v**

PERNYATAAN ..... **vi**

RIWAYAT HIDUP ..... **vii**

MOTTO ..... **viii**

PERSEMBAHAN ..... **ix**

KATA PENGANTAR ..... **x**

SANWACANA ..... **xi**

DAFTAR ISI ..... **xiii**

DAFTAR TABEL ..... **xvi**

DAFTAR GAMBAR ..... **xvii**

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait 6
2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya 9
2.3 Reaksi Redoks 10
2.4 Elektrokimia 11
2.5 Sel Volta 12
2.6 Sel Elektrolisis 14
2.7 Elektrolit 15
2.8 Elektrode 16
2.9 Korosi 18
2.10 Proteksi Katodik 19
2.11 Logam Aluminium dan Magnesium 22

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian 24
3.3 Prosedur Penelitian 25
3.4 Diagram Alir Penelitian 27
3.5 Rancangan Data Hasil Penelitian 28
3.6 Rancangan Analisis Data Penelitian 29

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi dan Analisis Alat 32
4.2 Tegangan tanpa beban 34
4.3 Daya 36
4.4 Intensitas Cahaya 38
4.5 Laju Korosi 39

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 42
5.2 Saran 42

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1 Nilai potensial elektrode 17

3.1 Pengukuran kehilangan massa elektrode 28

3.2 Pengukuran tegangan, arus, dan perhitungan daya 28

3.3 Pengukuran intensitas cahaya 29

3.4 Data hasil perhitungan laju korosi 29

4.1 Laju korosi logam zink 40

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1 Pengambilan data karakteristik elektrik air laut 6

2.2 Susunan alat 7

2.3 Grafik pengaruh luas permukaan terhadap arus 8

2.4 Sel volta 13

2.5 Sel elektrolisis 15

2.6 Desain proteksi katodik anode korban 20

2.7 Desain proteksi katodik arus tanding 21

3.1 (a) Desain alat 20 sel (b) Skema susunan alat 25

3.2 Diagram alir penelitian 27

3.3 Grafik rancangan pengukuran tegangan tanpa beban 30

3.4 Grafik rancangan hubungan daya terhadap waktu 30

3.5 Grafik rancangan pengukuran intensitas cahaya 31

4.1 (a) Realisasi alat penelitian (b) Letak anode korban pada logam zink .. 33

4.2 Grafik pengukuran tegangan tanpa beban selama 72 jam 34

4.3 Grafik hubungan daya terhadap waktu selama 72 jam 36

4.4 Grafik pengukuran intensitas cahaya selama 72 jam 38

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laut merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan sangat berlimpah. Indonesia sebagai negara maritim berpotensi dalam mengembangkan energi alternatif berbasis air laut. Pemanfaatan laut sebagai sumber energi antara lain energi panas laut, energi pasang surut, energi gelombang, energi arus laut, dan energi air laut. Air laut dapat dijadikan sebagai bahan baku sel bahan bakar dan baterai, sehingga energi air laut telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai penelitian (Kholiq, 2015). Kandungan air laut berupa 96,5 % air murni dan 3,5 % material lainnya. Air laut merupakan elektrolit asam kuat yang mengandung senyawa natrium klorida ($NaCl_2$) sebanyak 2,9 % (Roberge, 2008). Adanya senyawa $NaCl_2$ pada air laut dapat menghasilkan energi listrik yang murah dan ramah lingkungan (Fariya dan Rejeki, 2015).

Energi listrik air laut dapat dihasilkan melalui reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dalam sel elektrokimia. Untuk menghasilkan energi listrik, jenis sel elektrokimia yang digunakan adalah sel volta. Dalam sel volta, suatu elektrolit air laut diberikan dua buah logam sebagai elektrode yang terhubung satu sama lain dan memiliki beda potensial akan menghasilkan energi listrik (Riyanto, 2013). Penelitian tentang energi listrik berbasis elektrolit air laut yang telah dilakukan

menunjukkan bahwa semakin banyak volume elektrolit dalam sebuah sel elektrokimia maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar (Yulianti, 2016). Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa elektrode tembaga-zink (Cu-Zn) menghasilkan keluaran arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan elektrode tembaga-aluminium (Cu-Al), tembaga-galvalum (Cu-Gal), dan karbon-zink (C-Zn) (Hudaya, 2016; Susanto dkk., 2017A; Susanto dkk., 2017B). Dalam hal susunan sel elektrokimia, dapat diketahui bahwa sel air laut yang tersusun secara seri menghasilkan keluaran tegangan yang semakin tinggi sebanding dengan semakin banyaknya sel sedangkan sel yang tersusun secara paralel menghasilkan keluaran tegangan yang stabil (Maulan dkk., 2017). Selain dapat menghasilkan listrik, elektrolit air laut mempunyai sifat korosif terhadap logam.

Korosi merupakan salah satu masalah utama yang mempengaruhi menurunnya keluaran daya listrik sel air laut. Korosi dapat menyebabkan turunnya kualitas dan kekuatan dari suatu bahan. Oleh karena itu, perlu tindakan preventif dengan cara mengawasi proses korosi secara dini. Korosi logam tidak dapat dihindari, tetapi dapat dikurangi tingkat laju korosinya. Aspek-aspek dalam pencegahan korosi, yaitu seleksi material, proteksi katodik, pelapisan, serta perubahan media dan inhibitor (Vlack, 1992). Pencegahan laju korosi elektrode pada aspek perubahan media dan inhibitor dilakukan dengan cara pemfilteran elektrolit dan penambahan natrium bikarbonat pada elektrolit, sehingga dapat menekan laju korosi 9 kali lebih kecil. Akan tetapi, masih terdapat lapisan hitam pada elektrode tembaga (Arwaditha, 2017; Pangestu, 2017). Untuk itu, diperlukan aspek lain dalam pencegahan korosi, yaitu proteksi katodik dengan metode anode korban.

Metode *sacrificial anode* (anode korban) merupakan salah satu cara pencegahan korosi dengan menghubungkan logam yang akan dilindungi dari korosi dengan suatu logam lain yang memiliki potensial standar reduksi lebih kecil daripada logam yang akan dilindungi (Rahmawati, 2013). Perlindungan dengan anode korban mempunyai kelebihan diantaranya lebih sederhana, stabil, dan biaya lebih rendah (Roberge, 2008; Burhanudin, 2000). Secara umum, jenis logam yang digunakan sebagai anode korban adalah zink, aluminium, dan magnesium. Utami (2009) melakukan penelitian dengan metode anode korban dalam lingkungan *aqueous*. Berdasarkan pengukuran kehilangan massa, anode korban aluminium mampu menurunkan laju korosi baja sampai 82 %. Anode aluminium memiliki efisiensi rata-rata sebesar 90,1 % pada lingkungan air laut (Fadly, 2009). Penelitian lain yang dilakukan oleh Sasono dkk. (2014), menghasilkan laju korosi lambung kapal berbahan logam baja dapat ditekan dengan kandungan tertinggi aluminium pada logam anode korban sebesar 97,165 %.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dipaparkan, telah dilakukan penelitian tentang analisis laju korosi bahan elektrode logam tembaga dan zink pada sistem energi listrik alternatif berbasis air laut. Penelitian ini dilakukan dengan menghubungkan logam yang memiliki nilai potensial standar yang lebih kecil dari elektrode zink sebagai anode korban. Logam yang digunakan sebagai anode korban adalah logam aluminium dan magnesium. Logam anode korban dihubungkan ke elektrode dengan cara ditempelkan pada logam zink. Metode anode korban ini dapat mencegah laju korosi dan menghasilkan karakteristik elektrik yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

a. Bagaimana pengaruh penambahan pelat anode korban aluminium dan magnesium terhadap laju korosi elektrode Zn?
b. Bagaimana pengaruh laju korosi dengan metode anode korban terhadap energi listrik yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

a. Mengetahui pengaruh penambahan anode korban terhadap tingkat laju korosi elektrode Zn;
b. Mengetahui besar energi listrik yang dihasilkan elektrode dengan metode anode korban.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

a. Menghasilkan energi alternatif berbasis air laut dengan tingkat laju korosi elektrode yang rendah;
b. Menghasilkan karakteristik elektrik yang lebih baik dengan metode anode korban.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Penelitian ini dilakukan dengan metode anode korban menggunakan bahan logam berupa pelat aluminium dan magnesium yang berukuran 5 cm^2;
b. Desain alat yang digunakan terbuat dari bahan gelas dengan elektrode pasangan tembaga dan zink berukuran panjang 7 cm dan lebar 4 cm;
c. Sel elektrolit yang digunakan berjumlah 20 dengan volume elektrolit 200 ml per sel yang tersusun secara seri;
d. Data pengamatan yang diukur antara lain tegangan (V), arus (I), dan intensitas cahaya (Lux) dengan pengambilan data setiap 1 jam sekali selama 3 x 24 jam serta massa elektrode sebelum digunakan (m_{awal}) dan massa elektrode setelah digunakan (m_{akhir}) selama 72 jam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

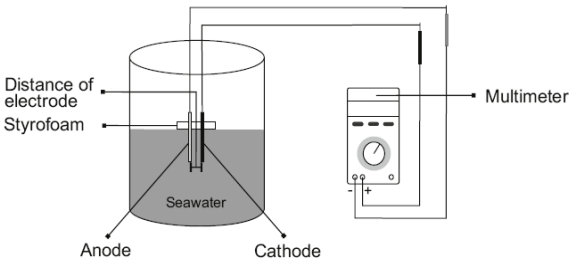
Pemanfaatan air laut sebagai energi terbarukan dilakukan dengan metode elektrokimia. Salah satunya, penelitian yang dilakukan oleh Hudaya (2016). Penelitian ini menggunakan 3 pasangan elektrode, yaitu elektrode Cu-Zn, Cu-Al, dan C-Zn. Air laut yang digunakan memiliki salinitas sebesar 3,5 ‰ dengan variasi volume sebesar 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml untuk setiap sel. Sel elektrokimia didesain dengan jumlah sel sebanyak 20 buah tersusun secara seri, seperti disajikan pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 Pengambilan data karakteristik elektrik air laut (Hudaya, 2016).

Penelitian ini menghasilkan nilai keluaran tegangan dan arus yang semakin besar seiring dengan bertambahnya volume air laut pada saat elektrode diberi beban. Pasangan elektrode C-Zn menghasilkan tegangan terbesar yaitu 17,46 V dengan volume air laut 100 ml pada saat pengukuran tanpa beban, sedangkan pasangan

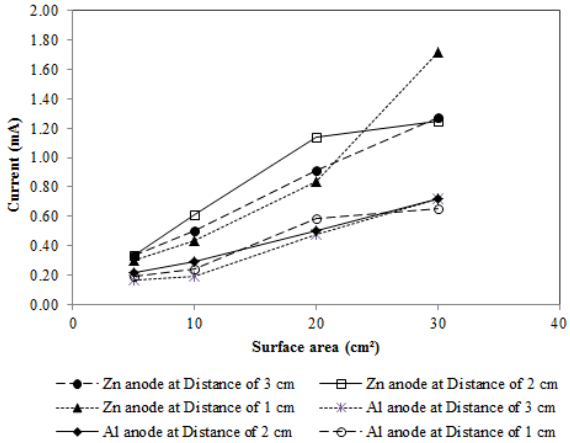
elektrode Cu-Zn menghasilkan tegangan terbesar yaitu 4,34 V dengan volume air laut 200 ml pada saat diberi beban.

Penelitian tentang baterai air laut juga dilakukan oleh Susanto dkk. (2017A). Penelitian tersebut membahas performa logam tembaga sebagai katode yang dipasangkan dengan logam zink dan aluminium sebagai anode. Data yang diperoleh berupa keluaran tegangan dan arus dari elektrolit air laut. Penelitian ini menggunakan elektrode dengan empat variasi ukuran luas permukaan yaitu 5 cm^2, 10 cm^2, 20 cm^2, dan 30 cm^2 serta jarak antar elektrode sejauh 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Susunan dari alat penelitian disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Susunan alat (Susanto dkk., 2017A).

Elektrode dihubungkan dengan multimeter digital untuk mengukur keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan setiap 10 menit selama 1 jam dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Elektrode Cu-Zn menghasilkan keluaran tertinggi tegangan sebesar 839 mV dan arus sebesar 1,75 mA, sedangkan elektrode Cu-Al menghasilkan keluaran tertinggi tegangan sebesar 547 mV dan arus sebesar 0,72 mA. Berikut ini grafik penambahan luas permukaan menggunakan anode zink dan aluminium terhadap keluaran arus.



Gambar 2.3 Grafik pengaruh luas permukaan terhadap arus (Susanto dkk., 2017A).

Selanjutnya, penelitian tentang elektrode Cu-Zn yang diuji tingkat korosifitasnya dalam elektrolit air laut dengan metode pemfilteran elektrolit dan penambahan sodium bikarbonat ($NaHCO_3$) (Arwaditha, 2017; Pangestu, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Pangestu (2017) menghasilkan laju korosi elektrode pada elektrolit yang tidak difilter 9 kali lebih besar dibandingkan pada elektrolit yang difilter. Pemfilteran elektrolit juga dilakukan pada penelitian yang dilakukan oleh Arwaditha (2017). Selain itu, adanya penambahan sodium bikarbonat dalam elektrolit juga memberikan keluaran yang lebih baik. Hasil dari penelitian tersebut adalah penambahan sodium bikarbonat menambah tingkat kelistrikan elektrolit dan mengurangi laju korosi. Elektrolit yang diberi tambahan sodium bikarbonat menghasilkan nyala LED 2 hari lebih lama dibandingkan elektrolit tanpa tambahan sodium bikarbonat.

Penelitian mengenai perlindungan katodik logam dari korosi air laut telah dilakukan oleh Afriani dkk. (2014). Logam yang dilindungi merupakan logam dengan bahan besi. Logam aluminium dan zink sebagai bahan anode korban.

Pengujian korosi dilakukan dengan uji celup pasangan anode dan katode yang dihubungkan dengan kawat baja. Spesimen direndam selama 15 hari dalam air laut dan air gambut. Massa dari besi ditimbang sebelum dan sesudah dicelup ke dalam air laut dan air gambut. Pada media air laut, laju korosi besi paling kecil terjadi pada aplikasi anode korban bahan aluminium. Anode korban aluminium dapat mengurangi laju korosi katode besi sebesar 0,8 % pada air laut.

Proteksi katodik yang digunakan untuk mencegah terjadinya korosi lambung kapal berbahan logam adalah metode anode korban. Pencegahan laju korosi pada bahan baja AISI E2512 sebagai spesimen diaplikasikan dengan 3 jenis bahan paduan alumunium sebagai anode korban (Bahan A memiliki kandungan alumunium sebesar 86,118 %, bahan B memiliki kandungan alumunium sebesar 85,097 %, dan bahan C memiliki kandungan alumunium sebesar 97,665 %). Laju korosi diukur berdasarkan data penurunan berat spesimen yang ditimbang setiap 48 jam. Penelitian ini menghasilkan kinerja dari anode korban paling optimal adalah bahan C, yang menghasilkan tingkat laju korosi terendah sebesar 0,065 mm/tahun (Sasono dkk., 2014).

2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan paparan penelitian yang telah dilakukan, belum dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pencegahan korosi elektrode logam pada energi alternatif air laut dengan sistem elektrokimia. Pada penelitian ini akan dianalisis laju korosi elektrode bahan tembaga dan zink pada elektrolit air laut sebagai sistem energi alternatif terbarukan. Metode pencegahan laju korosi yang digunakan adalah

metode proteksi katodik anode korban. Metode ini dibuat dengan menambahkan logam yang memiliki nilai potensial elektrode lebih kecil dari zink yaitu pelat aluminium dan magnesium. Alat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 20 buah sel dengan sistem tertutup yang tersusun secara seri. Elektrolit air laut yang digunakan akan difilter dan diganti secara berkala setiap 24 jam sekali. Data yang diambil pada penelitian ini berupa besarnya intensitas cahaya, tegangan tanpa beban, tegangan dengan beban dan arus yang dihasilkan. Selain itu, untuk mengukur laju korosi yang terjadi dapat menggunakan nilai massa yang terukur sebelum dan setelah pengujian alat. Analisis data dilakukan setelah semua data diperoleh. Analisis yang dilakukan berupa analisa laju korosi dan karakteristik elektrik.

2.3 Reaksi Redoks

Reaksi redoks adalah reaksi yang terjadi perubahan bilangan oksidasi. Reaksi redoks mencakup reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi-reaksi elektrode melibatkan transfer muatan dari elektrode ke spesies yang terlarut atau sebaliknya. Reaksi-reaksi yang melibatkan transfer muatan dari satu spesies ke yang lain sering disebut reaksi redoks. Nama redoks terdiri dari reduksi dan oksidasi. Reaksi reduksi adalah suatu reaksi dimana suatu spesies menangkap elektron (muatan negatif). Proses ini merupakan kebalikan dari proses reaksi oksidasi. Pada reaksi reduksi terjadi penurunan bilangan oksidasi melalui penangkapan elektron, contohnya:

$$Cu^{2+}\ (aq) + 2e \rightarrow Cu\ (s) \qquad 2.1$$

Sedangkan reaksi oksidasi adalah suatu reaksi dimana suatu spesies melepaskan elektron (muatan negatif). Pada reaksi oksidasi terjadi peningkatan bilangan oksidasi melalui pelepasan elektron, contohnya:

$$Zn\ (s) \rightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2e \qquad 2.2$$

Dalam reaksi redoks, reaksi reduksi dan oksidasi terjadi secara simultan, maka reaksi diatas menjadi:

$$Cu^{2+}\ (aq) + Zn\ (s) \rightarrow Cu\ (s) + Zn^{2+}\ (aq) \qquad 2.3$$

Reaksi autoredoks, atau istilah lainnya reaksi disproporsionasi adalah reaksi dimana suatu zat dapat mengalami reaksi reduksi dan oksidasi. Contoh:

$$Cl_2\ (g) + 2\ KOH\ (aq) \rightarrow KBr\ (aq) + KClO\ (aq) + 2\ H_2O\ (l) \qquad 2.4$$

(Suyanta, 2013).

2.4 Elektrokimia

Elektrokimia adalah reaksi kimia yang berlangsung dalam larutan pada antarmuka konduktor elektron (logam atau semikonduktor) dan konduktor ionik (elektrolit). Elektrokimia juga melibatkan perpindahan elektron antara elektrode dan elektrolit atau sejenisnya dalam larutan. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron bebas dari suatu logam kepada komponen di dalam larutan. Kesetimbangan reaksi elektrokimia sangat penting dalam sel volta (sel yang menghasilkan arus listrik) dan sel elektrolisis (sel yang memerlukan arus listrik).

Dalam bidang elektrokimia antara sel volta dan sel elektrolisis terdapat perbedaan yaitu berhubungan dengan reaksi spontan dan tidak spontan. Sel galvani secara umum terjadi reaksi spontan, sedangkan sel elektrolisis terjadi reaksi tidak

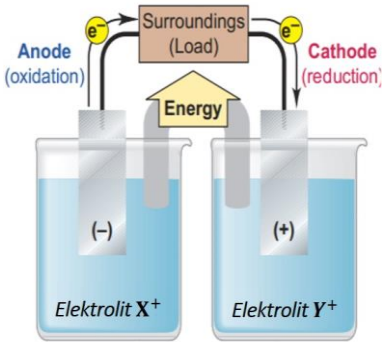
spontan. Reaksi spontan artinya reaksi elektrokimia tidak menggunakan energi atau listrik dari luar, sedangkan reaksi tidak spontan yaitu reaksi yang memerlukan energi atau listrik. Dengan kata lain, sel volta adalah suatu reaksi elektrokimia spontan membangkitkan arus listrik yang mengalir lewat rangkaian luar, seperti baterai, aki dan sel bahan bakar (*fuel cell*). Sel elektrolisis adalah suatu reaksi elektrokimia tak spontan didorong oleh suatu arus listrik yang diberikan oleh suatu sumber luar (Riyanto, 2013).

Peralatan elektrokimia minimal terdiri dari dua komponen penting yaitu elektrode (katode dan anode) dan elektrolit. Elektrode adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit. Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion. Semua sel elektrokimia juga harus mempunyai suatu rangkaian dalam dimana arus dapat mengalir dalam bentuk ion yang berdifusi. Beberapa tipe sel tertentu menggunakan jembatan garam dalam proses elektrokimia. Satuan pengukuran untuk banyaknya elektron, laju aliran dan selisih potensial listrik yang mendorong arus ini masing-masing adalah coulomb, ampere dan volt (Keenan dkk., 1984).

2.5 Sel Volta

Sel volta adalah penataan bahan kimia dan penghantar listrik yang memberikan aliran elektron lewat rangkaian luar dari suatu zat kimia yang teroksidasi ke zat kimia yang direduksi. Prinsip kerja sel volta, yaitu oksidasi melepaskan elektron oleh atom, molekul atau ion dan reduksi memperoleh elektron oleh suatu partikel (Keenan dkk., 1980). Sel volta terdiri atas dua buah elektrode yang dapat

menghasilkan energi listrik akibat terjadinya reaksi redoks secara spontan pada kedua elektrode tersebut. Elektrode negatif tempat berlangsungnya reaksi oksidasi yang disebut anode, dan elektrode positif tempat berlangsungnya reaksi reduksi yang disebut katode. Suatu sel volta tersusun bila dua logam dicelupkan dengan kecenderungan ionisasi yang berbeda dalam larutan elektrolit dan kedua elektrode dihubungkan dengan kawat, lihat Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sel volta (Sadono, 2017).

Logam dengan kecenderungan ionisasi yang lebih besar akan teroksidasi, menghasilkan kation yang terlarut dalam larutan elektrolit. Kemudian elektron yang dihasilkan akan bermigrasi ke logam dengan kecenderungan ionisasi lebih rendah melalui kawat. Pada logam dengan kecenderungan ionisasi lebih rendah, kation yang terlarut dalam larutan elektrolit akan direduksi dengan adanya elektron yang mengalir ke logam tersebut. Dalam sel volta, oksidasi berarti dilepaskannya elektron oleh atom, molekul atau ion dan reduksi berarti diperolehnya elektron oleh partikel-partikel ini. Potensial sel volta dapat ditentukan melalui percobaan dengan menggunakan voltmeter atau potensiometer. Potensial sel volta dapat juga dihitung berdasarkan data potensial elektrode positif (katode) dan potensial elektrode negatif (anode). Katode adalah elektrode yang

mempunyai harga E^0 lebih besar (lebih positif), sedangkan anode adalah yang mempunyai E^0 lebih kecil (lebih negatif) (Dogra,1990).

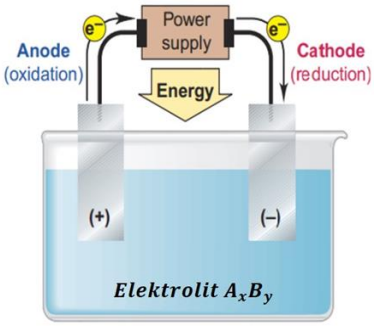
2.6 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk dapat berlangsung reaksi kimia. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia tidak terjadi secara spontan tetapi melalui perbedaan potensial yang dipicu dari luar sistem. Anode berfungsi sebagai elektrode bermuatan positif dan katode bermuatan negatif, sehingga arus listrik mengalir dari anode ke katode. Sel ini terdiri dari sumber arus searah yang dihubungkan dengan kawat penghantar pada dua buah elektrode (katode dan anode), kedua ujung elektrode dicelupkan dalam bejana berisi cairan elektrolit. Elektrode yang dihubungkan dengan kutub positif berfungsi sebagai anode, sedangkan katode adalah elektrode yang dihubungkan dengan kutub negatif, seperti disajikan pada Gambar 2.5.

Elektrode yang digunakan dalam sel elektrolisis terdiri dari dua jenis yaitu:

a. Elektrode inert adalah elektrode yang tidak ikut bereaksi baik sebagai katode maupun anode, sehingga dalam sel elektrolisis yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut dan atau air sebagai pelarut. Contohnya adalah karbon (C) dan pelatina (Pt).
b. Elektrode tidak inert atau elektrode aktif adalah elektrode yang ikut bereaksi, terutama jika digunakan sebagai anode, dapat mengalami reduksi. Contohnya adalah Fe, Al, Cu, Zn, Ag dan Au.

(Riyanto, 2013)



Gambar 2.5 Sel elektrolisis (Sadono, 2017).

2.7 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion. Zat yang jumlahnya lebih sedikit di dalam larutan disebut zat terlarut atau *solute*, sedangkan zat yang jumlahnya lebih banyak daripada zat-zat lain dalam larutan disebut pelarut atau *solven*. Komposisi zat terlarut dan pelarut dalam larutan dinyatakan konsentrasi larutan, sedangkan proses pencampuran zat terlarut dan pelarut membentuk larutan disebut pelarutan atau solvasi. Larutan terdiri dari larutan non elektrolit dan larutan elektrolit. Larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak menghantarkan arus listrik, sedangkan larutan elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan arus listrik dengan mudah. Elektrolit dapat berupa senyawa garam, asam atau amfoter. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh garam dapur atau NaCl (Lamy dkk, 2001).

Suatu larutan elektrolit dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit kuat adalah zat-zat yang berada dalam larutan seluruhnya atau hampir seluruhnya dalam bentuk ion. Elektrolit lemah adalah zat-

zat yang hanya sebagian kecil molekulnya larut dan bereaksi dengan air dan membentuk ion. Selain dikelompokkan menurut kekuatannya, elektrolit dapat diklasifikasikan menurut jenisnya. Tiga tipe yang lazim adalah asam, basa, dan garam.

Elektrolit mengandung ion-ion yang menarik ataupun melepaskan elektron-elektron, sehingga muatan dapat melewati larutan. Ion-ion merupakan atom bermuatan elektrik. Aliran elektron memasuki larutan pada katode. Elektron yang masuk itu diambil oleh ion-ion positif sehingga terjadi reduksi pada katode. Elektron meninggalkan larutan pada anode. Ion-ion negatif melepaskan elektron-elektron itu sehingga terjadi oksidasi pada anode. Penggantian elektrolit dapat dilakukan bila semua ion yang semula berada dalam larutan telah diubah menjadi partikel netral, tak ada lagi partikel negatif maupun positif untuk memberikan maupun menerima elektron dan arus tak dapat mengalir (Keenan dkk., 1984).

2.8 Elektrode

Elektrode yang mengalami reaksi oksidasi disebut anode dan yang mengalami reaksi reduksi disebut katode. Elektrode merupakan konduktor yang dapat dilalui arus listrik dari suatu media ke media yang lain. Elektrode biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau zink, tetapi terdapat juga elektrode yang terbuat dari bahan konduktor listrik non-logam, seperti grafit. Elektrode dapat digunakan dalam baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis (Chang, 2003). Potensial suatu elektrode hanya dapat dinyatakan terhadap potensial elektrode pasangannya, untuk membandingkan

besar elektrode dari berbagai jenis logam digunakan potensial standar Hidrogen (H_2). Nilai potensial elektrode berbagai logam terhadap H_2 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai potensial elektrode (Vlack, 1992).

Reaksi Reduksi	**Logam**	**E° (volt)**
$Au^{3+} + 3e^-$	Au	+1,50
$O_2 + 4H^+ + 4e^-$	$2H_2O$	+1,23
$Pt^{2+} + 2e^-$	Pt	+1,20
$Ag^+ + e^-$	Ag	+0,80
$Fe^{3+} + e^-$	Fe^{2+}	+0,77
$O_2 + 2H_2O + 4e^-$	$4(OH)^-$	+0,40
$Cu^{2+} + 2e^-$	Cu	+0,34
$2H^+ + 2e^-$	H_2	0,00
$Pb^{2+} + 2e^-$	Pb	-0,13
$Sn^{2+} + 2e^-$	Sn	-0,14
$Ni^{2+} + 2e^-$	Ni	-0,25
$Fe^{2+} + 2e^-$	Fe	-0,44
$Cr^{3+} + 3e^-$	Cr	-0,71
$Zn^{2+} + 2e^-$	Zn	-0,76
$Al^{3+} + 3e^-$	Al	-1,66
$Mg^{2+} + 2e^-$	Mg	-2,37
$Na^+ + e^-$	Na	-2,71
$K^+ + e^-$	K	-2,92
$Li^+ + e^-$	Li	-2,96

Pasangan elektrode yang biasa digunakan dan memiliki kinerja serta keluaran energi listrik yang baik adalah logam tembaga dan zink (Hudaya, 2016; Susanto dkk., 2017A; Susanto dkk., 2017B). Logam elektrode zink adalah anode dan elektrode tembaga adalah katode. Dari produksi seluruh dunia, tembaga dipakai lebih dari 50 % dalam teknik listrik. Itu karena tembaga mempunyai daya hantar yang baik untuk listrik. Juga untuk panas tembaga merupakan pengantar yang

baik, sehingga banyak dipakai dalam teknik pendinginan dan pemanasan, misal di dalam penukar panas, radiator pendingin, kondensor dan lain-lain.

Tembaga sangat tahan terhadap korosi, sehingga dapat dipakai juga untuk penerapan arsitektonis dan sebagai bahan pipa air. Dalam teknik kimia, tembaga banyak dipakai karena tembaga mempunyai ketahanan kimia terhadap banyak asam. Tembaga murni mudah sekali diubah bentuknya, sehingga tembaga cocok digunakan sebagai bahan perapat (Vliet dan Both, 1984). Pasangan elektrode tembaga yang biasa digunakan sebagai anode adalah logam zink. Zink merupakan logam yang rapuh pada suhu di bawah 100 ^{0}C dan diatas 150 ^{0}C. Dalam teknik listrik, zink dalam bentuk silinder tuang, digunakan sebagai kutub-negatif dari elemen galvani (Cotton dan Wilkinson, 1989). Logam zink relatif murah, karena banyak terdapat bijih-bijih zink di dunia ini dan zink mudah diolah dari bijih-bijih itu. Salah satu sifat yang sangat dihargai dari zink ialah ketahanan korosinya terhadap udara luar. Oleh karena itu, zink banyak dipakai untuk melindungi logam-logam lain (Vliet dan Both, 1984).

2.9 Korosi

Korosi adalah reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tak dikehendaki. Logam adalah bahan yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Dalam udara terbuka logam mudah teroksidasi yang menimbulkan korosi atau karat, sehingga dapat menurunkan kualitas dan kekuatannya. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan. Contoh korosi yang paling lazim adalah perkaratan

besi. Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi sedangkan oksigen mengalami reduksi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida dan karbonat (Trethewey dan Chamberlain, 1991). Korosi yang lazim dijumpai juga mencakup keadaan elektrode yang berlainan.

Suatu pasangan galvanik seperti pasangan elektrode zink dan tembaga. Kedua elektrode dapat teroksidasi. Bila kedua logam dihubungkan dengan voltmeter maka akan tercatat suatu perbedaan tegangan. Apabila melalui voltmeter, elektron akan mengalir dari elektrode zink melalui rangkaian luar, dan tembaga akan menerima elektron dari rangkaian luar. Dengan mengalirnya elektron dari anode, akan menghasilkan zink yang terkorosi. Sementara itu, elektron yang mengalir ke katode melebihi elektron yang dilepaskan. Elektron ini akan bereaksi dengan ion tembaga yang terdapat dalam elektrolit. Korosi hanya terjadi pada salah satu elektrode pasangan galvanik, khususnya anode. Kecepatan korosi pada suatu bahan dipengaruhi oleh kelembaban udara dan kadar garam atau asam. Korosi terjadi dimulai dari permukaan logam yang terbuka dan menyebar ke bagian lain sesuai dengan fungsi waktu. Bagian yang terkena korosi mengalami perubahan susunan molekul karena terjadinya ikatan kimiawi antara atom logam dengan oksigen (Vlack, 1992).

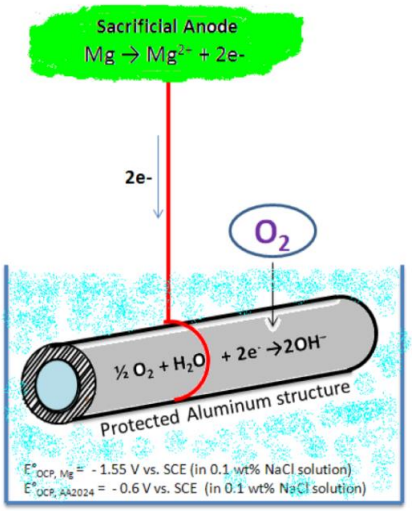
2.10 Proteksi Katodik

Aplikasi pertama proteksi katodik dapat ditelusuri kembali ke tahun 1824, ketika Sir Humphrey Davy, dalam sebuah proyek yang dibiayai oleh Angkatan Laut Inggris, berhasil melindungi selubung tembaga terhadap korosi dari air laut

dengan menggunakan anode besi (Roberge, 2008). Proteksi katodik adalah sistem perlindungan permukaan logam dengan cara melalukan arus searah yang memadai ke permukaan logam dan mengkonversikan semua daerah anode di permukaan logam menjadi daerah katode. Sistem ini hanya efektif untuk sistem - sistem yang terbenam dalam air atau di dalam tanah. Sistem perlindungan ini telah berhasil mengendalikan proses korosi untuk kapal-kapal laut, struktur pinggir pantai, instalasi pipa dan tangki bawah tanah atau laut, dan sebagainya. Cara pemberian arus searah dalam sistem proteksi katodik ada dua, yaitu arus tanding dan anode korban (Chodijah, 2008).

a. Proteksi katodik metode anode korban

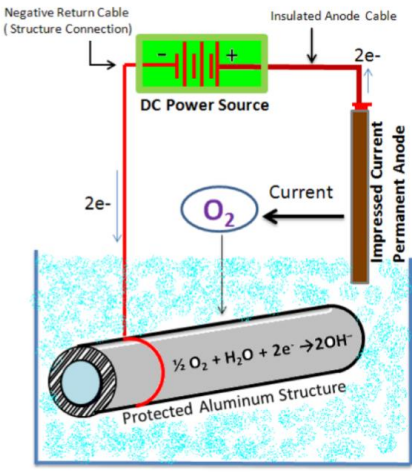
Proteksi katodik dengan anode korban terjadi saat sebuah logam dihubungkan dengan logam yang lebih reaktif (anode). Hubungan ini mengarah pada sebuah rangkaian galvanik. Untuk memindahkan korosi secara efektif dari struktur logam, material anode harus mempunyai beda potensial cukup besar untuk menghasilkan arus listrik.



Gambar 2.6 Desain proteksi katodik anode korban (Pathak dkk., 2012).

b. *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP)

Untuk struktur (bangunan) yang lebih besar, anode galvanik tidak dapat secara ekonomis mengalirkan arus yang cukup untuk melakukan perlindungan yang menyeluruh. Sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) menggunakan anode yang dihubungkan dengan sumber arus searah (DC) yang dinamakan *cathodic protection rectifier*. Anode untuk sistem ICCP dapat berbentuk batangan turbular atau pita panjang dari berbagai material khusus. Material ini dapat berupa *high silicon cast iron* (campuran besi dan silikon), grafit, campuran logam oksida, pelatina dan niobium serta material lainnya.



Gambar 2.7 Desain proteksi katodik arus tanding (Pathak dkk., 2012).

Proteksi katodik metode anode korban adalah suatu penanggulangan korosi yang memanfaatkan deret galvanik untuk memilih suatu bahan yang bila digandengkan dengan logam yang ingin dilindungi, akan menjadi anode. Proteksi katodik menggunakan arus tanding tidak jauh berbeda dengan metode anode korban, hanya saja ada beberapa bagian yang tidak dimiliki oleh sistem anode korban

seperti *rectifier* dan anode yang tidak akan termakan. *Rectifier* mengubah catu arus searah yang tersedia secara lokal menjadi arus searah dengan tegangan yang dibutuhkan. Catu daya tersebut biasanya dibuat khusus untuk setiap penerapan (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

2.11 Logam Aluminium dan Magnesium

Aluminium adalah unsur logam yang biasa dijumpai dalam kerak bumi dan terdapat dalam batuan seperti felspar dan mika. Kandungan yang mudah diperoleh adalah oksida terhidrat. Aluminium adalah logam yang keras, kuat dan berwarna putih. Meskipun sangat elektropositif, aluminium juga tahan terhadap korosi karena lapisan oksida yang kuat dan liat terbentuk pada permukaannya. Lapisan-lapisan oksida yang tebal seringkali dilapiskan secara elektrolitik pada aluminium yaitu proses anodisasi (Cotton dan Wilkinson, 1989). Aluminium mempunyai daya hantar listrik yang baik sehingga aluminium banyak dipergunakan sebagai bahan pengantar listrik. Untuk keperluan itu aluminium harus semurni mungkin (Beumer, 1985).

Aluminium larut dalam asam mineral encer, tetapi dipasifkan oleh HNO_2 pekat. Bila pengaruh perlindungan lapisan oksida dirusak, misalnya dengan penggoresan, penyerangan korosi dapat cepat terjadi meskipun oleh air. Logam aluminium mudah bereaksi oleh larutan NaOH panas, halogen dan berbagai nonlogam. Aluminium merupakan bahan yang tidak beracun, tidak mempunyai rasa dan tidak berbau (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Logam magnesium adalah logam lunak yang mempunyai massa jenis rendah yaitu 1,7 x 10^3 kg/m^3. Oleh karena itu, magnesium adalah bahan penting dalam bangunan kapal udara, teknik listrik, bangunan mesin dan sebagainya. Untuk mempertinggi kekuatan tariknya, magnesium harus dipadukan dengan bahan lain. Magnesium tahan korosi berkat lapisan kuat oksida magnesium (Beumer, 1985). Sebagai logam murni, magnesium tidak mempunyai arti apa-apa karena kekuatan bahannya rendah. Sifat yang khas dari magnesium ialah sangat cepat terbakar. Magnesium tidak begitu tahan terhadap korosi seperti aluminium (Vliet dan Both, 1984).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Mei 2018 sampai dengan bulan Oktober 2018.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Mesin gerinda dan gunting digunakan untuk memotong elektrode;
b. Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume elektrolit air laut;
c. Tang digunakan untuk membentuk kabel penghubung;
d. *Lightmeter* digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang dihasilkan;
e. Multimeter digunakan untuk mengukur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan;
f. Timbangan digital digunakan untuk mengukur besarnya massa dari elektrode;
g. Filter air digunakan untuk menyaring elektrolit air laut;
h. Sel elektrolit berupa gelas berbahan kaca.

dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Air laut sebagai elektrolit;

b. Pelat tembaga dan zink berukuran 4 x 7 cm^2 sebagai elektrode;

c. Anode korban berupa pelat aluminium dan magnesium berukuran 5 cm^2;

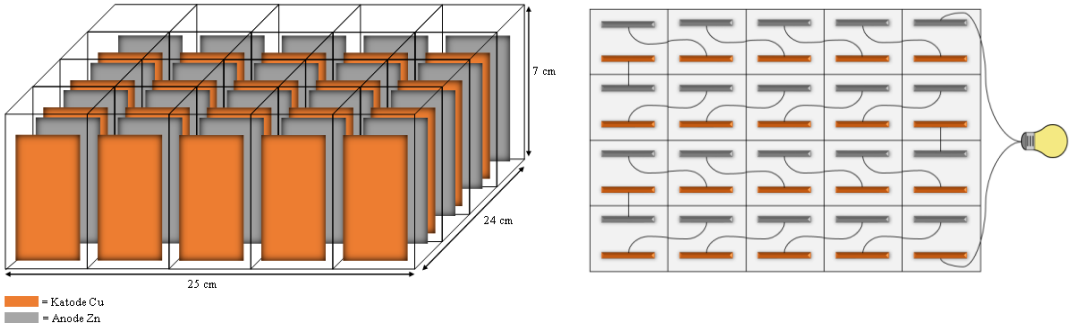
d. Kabel penghubung sebagai penghubung antar elektrode;

e. Lampu LED 3 watt 12 volt DC digunakan untuk menguji energi listrik dari alat;

f. Aquades dan alkohol 70 % digunakan sebagai bahan pembersih elektrode.

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan desain alat memiliki 20 sel dengan sistem tertutup dan setiap sel dihubungkan secara seri, seperti disajikan dalam Gambar 3.1.



(a) (b)

Gambar 3.1 (a) Desain alat 20 sel (b) Skema susunan alat.

Prosedur yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas 3 tahap, yaitu:

a. Pemfilteran elektrolit dan pembersihan elektrode

Pada tahap ini, pemfilteran elektrolit dan pembersihan elektrode merupakan tahap awal yang dilakukan dalam persiapan penelitian sebelum melakukan pengujian. Pemfilteran elektrolit dilakukan untuk memisahkan air laut dari bahan yang tidak diinginkan. Pada penelitian ini, elektrolit air laut difilter sebanyak dua kali. Elektrode dibersihkan dengan alkohol 70 % kemudian dibilas dengan aquades.

b. Pengukuran massa elektrode

Tahap selanjutnya adalah pengukuran massa elektrode. Pengukuran massa elektrode dilakukan sebanyak 2 kali yaitu sebelum diuji dan setelah diuji selama 72 jam. Perubahan massa elektrode ini dapat dijadikan sebagai data dalam menganalisis laju korosi. Laju korosi elektrode dapat dihitung dengan rumus kehilangan massa, persamaan 3.1.

$$CR = \frac{K \times M}{A \times t \times d} \qquad 3.1$$

Keterangan:
CR = Laju korosi (mm/tahun)
K = Konstanta satuan mm/tahun (8,76 x 10^4)
M = Kehilangan massa (gr)
A = Luas permukaan (cm^2)
t = Waktu (jam)
d = Densitas (gr/cm^3)

c. Pengujian alat

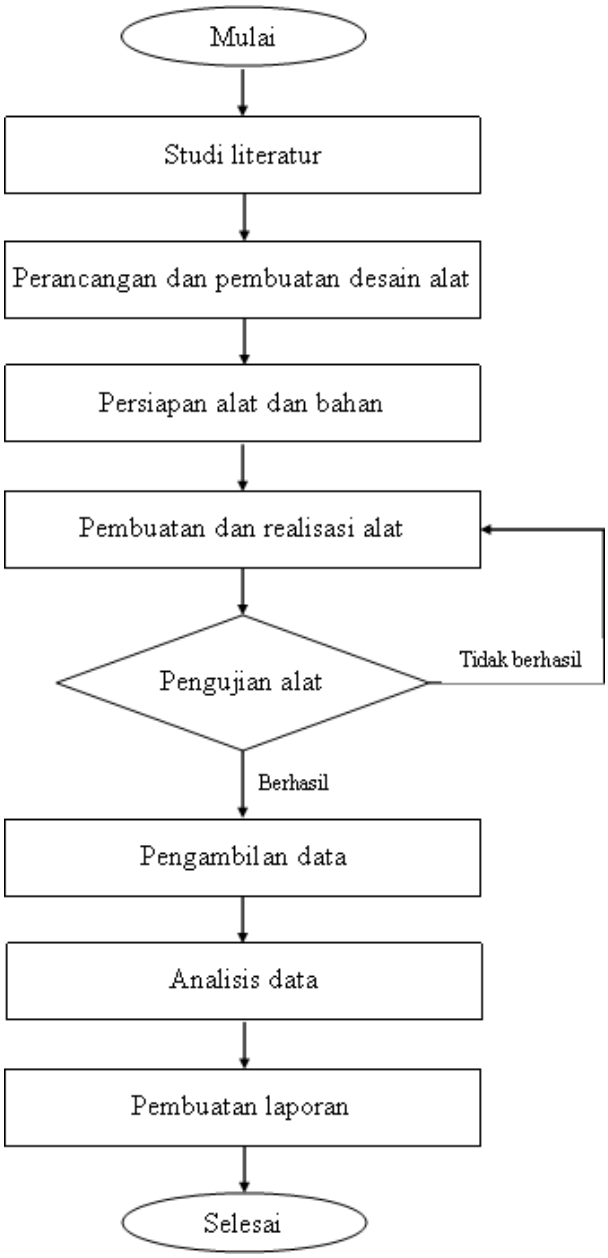
Pada tahap ini, terdapat beberapa langkah yang dilakukan.

1. Menyiapkan sel uji, elektrolit, elektrode, alat ukur, lampu LED, dan kabel penghubung.
2. Sel uji disiapkan dalam keadaan bersih kemudian elektrode yang telah diukur massanya diletakkan ke setiap sel dan dihubungkan secara seri dengan kabel penghubung.
3. Selanjutnya, setiap sel diisi dengan elektrolit sebanyak 200 ml.
4. Setelah itu, lampu LED dihubungkan ke output alat.
5. Pengambilan data berupa tegangan sebelum diberi beban dan setelah diberi beban, arus, dan intensitas cahaya dari nyala LED dilakukan dari awal waktu uji dan diambil kembali setiap satu jam selama 24 jam pengujian.

6. Setelah pengujian selama 24 jam, dilakukan penggantian elektrolit.
7. Elektrode dikeringkan dan diukur massanya.
8. Melakukan langkah 2 – 7 untuk pengujian selama 72 jam.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar yang disajikan berikut ini:



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.5 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu tegangan, arus, dan massa elektrode. Karakteristik elektrik dari energi listrik yang dihasilkan berupa cahaya LED sampai dengan redup selama 72 jam dengan aplikasi anode korban dan tanpa aplikasi anode korban. Pengamatan laju korosi elektrode juga dilakukan dengan data berupa massa elektrode untuk mengetahui pengaruh laju korosi terhadap karakteristik elektrik. Data pengamatan pada penelitian ini diambil setiap 1 jam sekali selama 72 jam berturut-turut. Rancangan data penelitian yang diambil seperti disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Pengukuran kehilangan massa elektrode.

No	Elektrode ke-	m_{awal}	m_{akhir}	M (gr)
1				
2				
3				
4				
5				

Keterangan m_{awal} = massa logam zink sebelum pengujian
m_{akhir} = massa logam zink setelah pengujian selama tiga hari
M = kehilangan massa setelah diuji selama tiga hari

Tabel 3.2 Pengukuran tegangan, arus, dan perhitungan daya.

No	Waktu (jam)	Tegangan tanpa beban (V)	Tegangan dengan beban (V)	Arus (mA)	Daya (mW)
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 3.3 Pengukuran intensitas cahaya.

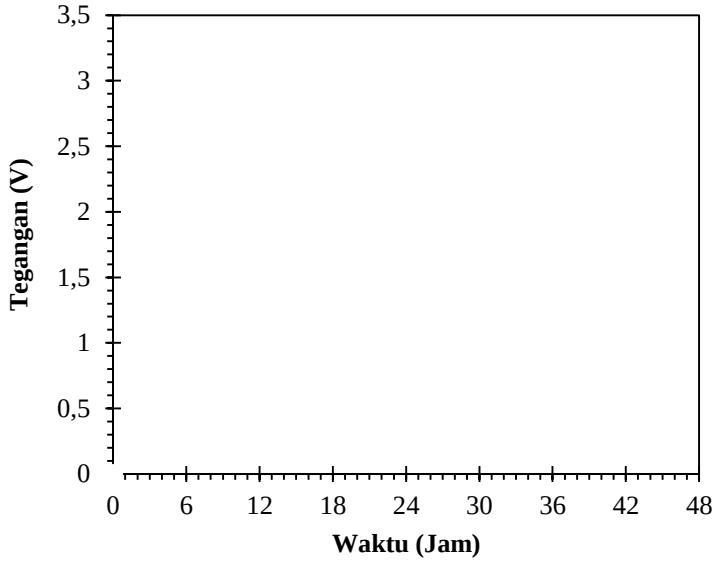
No	Waktu (Jam)	Intensitas cahaya (Lux)	Penurunan intensitas cahaya (%)
1	1		
2	2		
3	3		
4	4		
5	5		

Tabel 3.4 Data hasil perhitungan laju korosi.

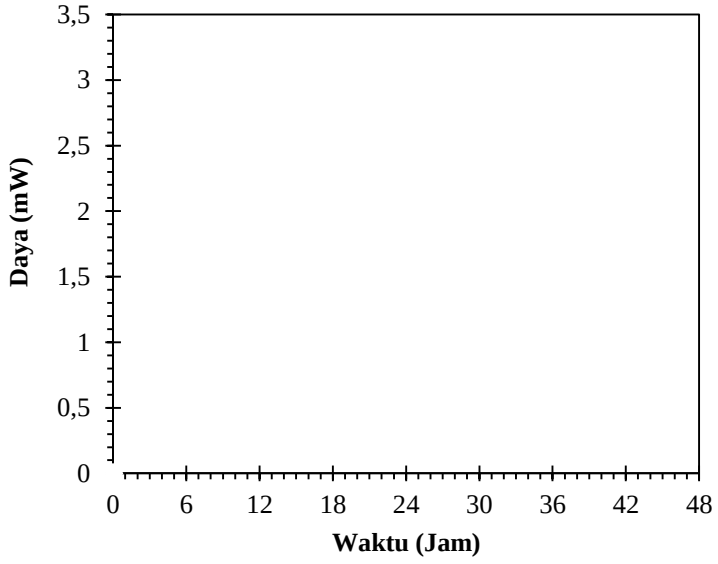
No	Elektrode	Kehilangan massa rata-rata (gr)	Laju korosi (mm/tahun)
1	Zn		
2	Zn-Al		
3	Zn-Mg		

3.6 Rancangan Analisis Data Penelitian

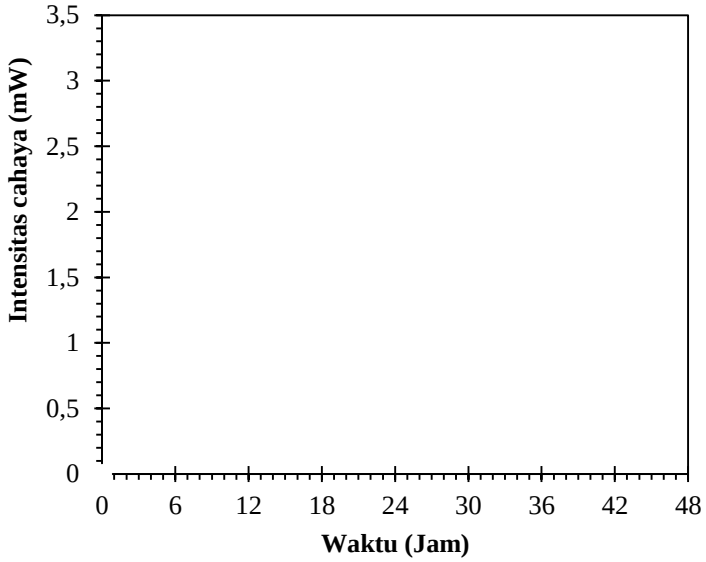
Data hasil penelitian yang dianalisis adalah pengaruh laju korosi dan waktu terhadap karakteristik elektrik yang dihasilkan. Analisis data dilakukan sebelum dan setelah pengisian ulang elektrolit, untuk mendapatkan data pengaruh pengisian ulang elektrolit terhadap energi listrik yang dihasilkan. Analisis data diplot ke dalam grafik, seperti disajikan pada gambar 3.3 - 3.5.



Gambar 3.3 Grafik rancangan pengukuran tegangan tanpa beban



Gambar 3.4 Grafik rancangan hubungan daya terhadap waktu



Gambar 3.5 Grafik rancangan pengukuran intensitas cahaya

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan realisasi penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Daya listrik maksimum dari elektrode Cu-Zn tanpa anode korban sebesar 49,49 mW; sedangkan elektrode Cu-Zn dengan anode korban menghasilkan daya maksimum sebesar 52,48 mW untuk elektrode Cu-ZnAl dan 125,71 mW untuk elektrode Cu-ZnMg.
2. Tingkat laju korosi elektrode zink dengan penambahan anode korban logam aluminium mengalami penurunan sebesar 10,61 %; sedangkan elektrode zink dengan penambahan anode korban magnesium mengalami penurunan laju korosi sebesar 23,74 % .

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan kajian yang lebih mendalam terkait metode anode korban.
2. Melakukan variasi ukuran anode korban yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Afriani, S.F., Komalasari, dan Zultiniar. 2014. Proteksi Katodik Metoda Anoda Korban untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jurnal FTEKNIK*. 1(2): 1-12.

Aristian, J. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrik Berbasis Elektrolit Air Laut sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Arwaditha, R.K. 2017. Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate ($NaHCO_3$) sebagai Sumber Energi Alternatif. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Beumer, B.J.M. 1985. *Ilmu Bahan Logam Jilid 1*. Diterjemahkan oleh B.S. Anwir dan Matondang. Bhratara Karya Aksara. Jakarta.

Burhanudin, M. 2000. Analisa Teknis dan Ekonomis Perlindungan Korosi Menggunakan Sistem Sacrificial Anode dan Impressed Current Cathodic Protection pada Kapal. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Chang, R. 2003. *General Chemistry: The Essential Concepts*. Erlangga. Jakarta.

Chodijah, S. 2008. Efektifitas Penggunaan Pelapis Epoksi terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53 di dalam Tanah. (Skripsi). Universitas Indonesia. Jakarta.

Cotton, F.A. dan G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Diterjemahkan oleh Sahati Suharto. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Dogra, S.K. 1990. *Kimia Fisis dan Teoritis*. Diterjemahkan oleh Umar Mansyur. Erlangga. Jakarta.

Fadly, E. 2009. Perbandingan Efisiensi Anoda Aluminium pada Lingkungan Air Laut dan Pasir Laut. (Skripsi). Universitas Indonesia. Depok.

Fariya, S. dan S. Rejeki. 2015. Seacell (Seawater Electrochemical Cell) Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Menjadi Cadangan Sumber Energi Listrik Terbarukan Sebagai Penerangan Sampan. *Jurnal Sain dan Teknologi*. 10(1): 44-58.

Hudaya, E. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Keenan, C.W., D.C. Kleinfelter, dan J.H. Wood. 1984. *Ilmu Kimia untuk Universitas Edisi Keenam Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.

Kholiq, I. 2015. Pemanfaatan Energi Altenatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Subtistusi BBM. *Jurnal IPTEK*. 19(2): 71-91.

Lamy, C., E.M. Belgsir, dan J.M. Leger. 2001. Electrocatalytic Oxidation of Aliphatic Alcohols Aplication to The Direct Alcohol Fuel Cell. *Journal Application Electrochem*. 31: 799-809.

Maulan, A., D.A. Randi, D.G. Winandar, dan A.N. Maghfiroh. 2017. Pemanfaatan Air Laut sebagai Media Penyuplai Kebutuhan Listrik Kapal. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*. 5: 1-7.

Pangestu, S.S. 2017. Analisis Laju Korosi pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

Pathak, S.S., S.K. Mendon, M.D. Blanton, dan J.W. Rawlins. 2012. Magnesium-Based Sacrificial Anode Cathodic Protection Coatings (Mg-Rich Primers) for Aluminum Alloys. *Journal Metals*. 2: 353-376.

Rahmawati, F. 2013. *Elektrokimia: Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Roberge, P.R. 2008. *Corrosion Engineering Principles and Practice*. The McGraw Hill Companies. USA.

Sadono, R. 2017. Elektrokimia. http://harischem.blogspot.co.id/2017/. Diakses pada tanggal 2 Mei 2018 pukul 21.40.

Sasono, E.J., Sulaiman, S. Darmanto, dan E. Supriyo. 2014. Analisa Perbandingan Laju Korosi Lambung Kapal dengan Aplikasi Paduan Alumunium. *Jurnal TEKNIK*. 9(1): 28-34.

Supriyono, L.P.M.I. Wulaningfitri, J.C. Pradana, I. Feliani, dan A.N. Putri. 2017. Karakteristik Performa Discharge Anoda Magnesium Teranodisasi yang Teraktivasi oleh Air Laut. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*. 1(2): 56-62.

Susanto, A., M.S. Baskoro, S.H. Wisudo, M. Riyanto, dan F. Purwanka. 2017A. Performance of Zn-Cu and Al-Cu Electrodes in Seawater Battery at Different Distance and Surface Area. *International Journal of Renewable Energy Research*. 7(1): 298-303.

Susanto, A., M.S. Baskoro, S.H. Wisudo, M. Riyanto, dan F. Purwanka. 2017B. Seawater Battery with Al-Cu, Zn-Cu, Gal-Cu Electrodes for Fishing Lamp. *International Journal of Renewable Energy Research*. 7(4): 1857-1868.

Susanto, A., M.S. Baskoro, S.H. Wisudo, M. Riyanto, dan F. Purwanka. 2018. Ujicoba DC Converter dengan Baterai Air Laut Cu-Zn sebagai Sumber Energi Lampu untuk Perikanan Bagan Tancap. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 8(1): 10-18.

Suyanta. 2013. *Buku Ajar Kimia Unsur*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

Trethewey, K.R. dan J. Chamberlain. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. Diterjemahkan oleh Alex Tri Kantjono Widodo. Gramedia. Jakarta.

Utama, D.N.B., I.R. Kusuma, dan S. Sarwito. 2016. Perencanaan Energi Listrik Alternatif Tenaga Air Laut Dengan Menggunakan Magnesium Sebagai Anoda Untuk Penerangan Alternatif Pada Kapal Nelayan. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2): 406-412.

Utami, I. 2009. Proteksi Katodik dengan Anoda Korban sebagai Pengendali Laju Korosi Baja dalam Lingkungan Aqueous. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(2): 240-245.

Vlack, L.H. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, M.E., M.Met. Erlangga. Jakarta.

Vliet, G.L.J. dan W. Both. 1984. *Teknologi untuk Bangunan Mesin Bahan-Bahan 1*. Diterjemahkan oleh Haroen. Erlangga. Jakarta.