

**ANALISIS LAJU KOROSI DAN KARAKTERISTIK LISTRIK
ELEKTRODA SERABUT Cu(Ag)-Zn DENGAN METODE
SACRIFICIAL ANODE Mg PADA SISTEM
ELEKTROKIMIA BERBASIS AIR LAUT**

(Skripsi)

Oleh

Mia Abi Nisa



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

ANALISIS LAJU KOROSI DAN KARAKTERISTIK LISTRIK ELEKTRODA SERABUT Cu(Ag)-Zn DENGAN METODE SACRIFICIAL ANODE Mg PADA SISTEM ELEKTROKIMIA BERBASIS AIR LAUT

Oleh

MIA ABI NISA

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar laju korosi Zn yang diproteksi dengan logam Mg sebagai anoda tumbal, dan mengetahui karakteristik listrik sel elektrokimia dengan pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn. Elektroda terbuat dari serabut Cu dengan panjang 2 m per helai sebanyak 25 helai dan pelat Zn dengan dimensi panjang 10 cm dan lebar 3,5 cm. Cu dilapisi dengan logam Ag menggunakan metode penyepuhan (elektropelating), sedangkan logam Zn dilindungi dengan logam Mg sebagai anoda tumbal. Perangkat percobaan terdiri dari 20 sel elektrokimia yang disusun secara seri, dan masing-masing sel diisi air laut sebanyak 300 mL. Sel elektrokimia dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 volt selama 72 jam. Data yang diambil adalah massa Zn dan karakteristik listrik meliputi tegangan, arus, dan intensitas cahaya selama 72 jam. Dari hasil pengukuran massa Zn sebelum dan sesudah digunakan, dihitung besarnya laju korosi, sedangkan dari data tegangan dan arus dihitung besarnya hambatan dalam dan daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Mg sebagai anoda tumbal menghasilkan nilai karakteristik listrik meliputi tegangan, arus, intensitas cahaya, dan daya yang lebih besar sekaligus menurunkan hambatan dalam dibandingkan dengan sel elektrokimia tanpa penggunaan anoda tumbal Mg. Penggunaan anoda tumbal Mg pada sel elektrokimia menurunkan laju korosi pada elektroda Zn 3 kali lebih rendah daripada tanpa anoda tumbal Mg.

Kata Kunci: Air laut, anoda tumbal, karakteristik listrik, sel elektrokimia.

ABSTRACT

ANALYSIS OF CORROSION RATE OF Zn AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF Cu(Ag)-Zn ELECTRODES WITH THE USE OF Mg AS SACRIFICIAL ANODE IN SEA WATER BASED ELECTROCHEMICAL CELL

By

MIA ABI NISA

This research was conducted to determine the corrosion rate of Zn protected with Mg metal as a sacrificial anode in electrochemical cell with Cu(Ag)-Zn electrodes, and to determine the electrical characteristics of the cell. Electrodes are made of Cu fibers with a length of 2 m per strand and Zn plates with dimensions of 10 cm long and 3.5 cm wide. Cu is coated with Ag metal using the electroplating method, while Zn metal is protected with Mg metal as a sacrificial anode. The experimental device consists of 20 electrochemical cells arranged in series, and each cell was filled with 300 mL of water. The electrochemical cell was connected to a 3 watt 12 volt LED load for 72 hours. The data collected are mass of Zn and electrical characteristics include voltage, current, and light intensity for 72 hours. From the results of Zn mass measurements before and after use, the corrosion rate was calculated, while the voltage and current were used to calculate internal resistance and power. The results showed that the use of Mg as a sacrificial anode resulted in better electrical characteristics including voltage, current, light intensity, and power, while reducing internal resistance compared to electrochemical cells without the use of a Mg sacrificial anode. The use of Mg sacrificial anode on electrochemical cells was found to lead to threefold decrease of corrosion rate of Zn electrode, compared to that of the cell without Mg sacrificial anode.

Key Words: Electrical characteristic, electrochemical cell, sacrificial anode, seawater.

**ANALISIS LAJU KOROSI DAN KARAKTERISTIK LISTRIK
ELEKTRODA SERABUT Cu(Ag)-Zn DENGAN METODE
SACRIFICIAL ANODE Mg PADA SISTEM
ELEKTROKIMIA BERBASIS AIR LAUT**

Oleh

MIA ABI NISA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai 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 DAN
KARAKTERISTIK LISTRIK ELEKTRODA
SERABUT Cu(Ag)-Zn DENGAN METODE
SACRIFICIAL ANODE Mg PADA SISTEM
ELEKTROKIMIA BERBASIS AIR LAUT**

Nama Mahasiswa

: Mia Abi Nisa

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1517041029

KBK

: Instrumentasi

Jurusan

: Fisika

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.

NIP 19801010 200510 1 002

Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.

NIP 19590706 198811 1 001

2. Ketua Jurusan Fisika

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.

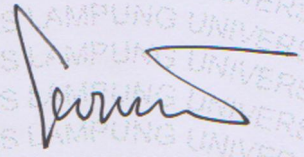
NIP 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

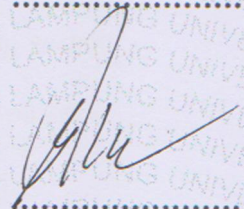
Ketua

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



Sekretaris

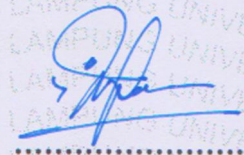
: **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing

: **Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dis. Suratman, M.Sc.

NIP 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 Desember 2019**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau 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 tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 Desember 2019



Mia Abi Nisa
NPM. 1517041029

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 30 Mei 1997, anak pertama dari 3 bersaudara pasangan Bapak Abidin dan Ibu Umi Kalsum. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Aisyiah Muhammadiyah Bandar Lampung tahun 2003, SDN 1 Labuhan Ratu tahun 2009, SMP N 22 Bandar Lampung tahun 2012 dan SMA N 13 Bandar Lampung tahun 2015.

Penulis diterima di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada tahun 2015 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I, Fisika Dasar II, Elektronika Dasar I, Elektronika Dasar II, dan Sistem Pengaturan. Pada tahun 2018 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jakarta, dengan judul laporan PKL “Analisis data *Fluxgate* Model FGE-K2 Terhadap Gangguan Medan Magnet Bumi”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2018 di Desa Bungkok, Kecamatan Marga Sekampung, Kabupaten Lampung Timur. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, antara lain Anggota Magang Bidang

Kaderisasi HIMAFI FMIPA Unila tahun 2015/2016, Anggota Magang Kesekretariatan dan Rumah Tangga Natural FMIPA Unila tahun 2015/2016, Anggota Bidang Sosial Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila tahun 2016/2017, dan Anggota Bidang Dana dan Usaha Natural FMIPA Unila tahun 2016/2017. Pada tahun 2019, penulis menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Laju Korosi dan Karakteristik Listrik Elektroda Serabut Cu(ag)-Zn Dengan Metode *Scarificial Anode* Mg Pada Sistem Elektrokimia Berbasis Air Laut”.

MOTTO

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya

(QS. Al-Baqarah:286)

Dan..

Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang telah melewatkan ku tidak akan pernah menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan melewatkan ku.

(Umar bin Khattab)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya ini kepada:

Diriku Sendiri

Terima kasih telah kuat dan mampu bertahan untuk menyelesaikan amanah dari kedua orang tua yaitu menyelesaikan pendidikan di Fisika FMIPA Unila.

Kedua Orang Tua (Bapak Abidin, S.P. dan Ibu Umi Kalsum)

Terima kasih atas segala do'a dan pengorbanan yang telah diberikan hingga aku mampu menyelesaikan pendidikan S1.

dan

Almamaterku tercinta
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahim,

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Laju Korosi dan Karakteristik Listrik Elektroda Serabut Cu(Ag)-Zn Dengan Metode *Sacrificial Anode* Mg Pada Sistem Elektrokimia Berbasis Air Laut**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di bidang keahlian Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Skripsi ini dilaksanakan dari bulan April 2019 sampai Desember 2019 bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penekanan skripsi ini adalah dihasilkannya sebuah alat yang mampu menghasilkan daya listrik dari elektroda Cu(Ag)-Zn dan air laut yang lebih tahan terhadap serangan korosi oleh air laut.

Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menuju suatu yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua.

Bandar Lampung, 12 Desember 2019

Penulis

SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku (Bapak Abidin dan Ibu Umi Kalsum), dan kedua adikku yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan do'a.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat ketika menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D. selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat ketika menyelesaikan skripsi.
4. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberika kritik, dan saran selama penulisan skripsi.
5. Bapak Drs. Ediman Ginting, M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah membantu dan memberikan nasihat dan motivasi selama kuliah sampai dengan menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Bapak Drs. Suratman, M.Sc.. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

9. Teman-teman satu tim penelitian Arie Anjarwati, Bela Wicaksana, dan Rima Mei Handayani. Terimakasih untuk kalian semua yang telah memberikan dukungan dan kerjasama yang baik selama melaksanakan penelitian ini.
10. Teman-teman seperjuangan Dewi Puspitasari, Indah Pratiwi, dan Putri Vidia Citra. Terimakasih untuk kalian semua semoga kelak kita dapat bertemu dalam keadaan sukses.
11. Teman-teman seperjuangan Fisika 2015, kakak-kakak tingkat, serta adik-adik tingkat yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan skripsi.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan skripsi.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala usaha yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 12 Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWANCANA	xii
DAFTAR ISI.....	.xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait	6
1. Sistem Listrik Dengan Elektrolit Air Laut.....	6
2. Analisis Laju Korosi Pada Sistem Energi Listrik Elektrolit Air Laut .	7
3. Analisis Laju Korosi Elektroda Cu-Zn Pada Sistem Energi Listrik Elektrolit Air Laut.....	8
4. Analisis Pengaruh Elektroplating Perak Pada Tembaga Terhadap Karakteristik Air Laut	9
B. Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya.....	10
C. Teori Dasar	11
1. Reaksi Elektrokimia.....	11
2. Karakteristik Elektroda Cu dan Zn	14
3. Karakteristik Logam Ag dan Mg	16
4. Karakteristik Air Laut	16
5. Proteksi Katodik	18
6. Elektropelating.....	19
7. Laju Korosi	21

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
B. Alat dan Bahan.....	23
C. Prosedur Penelitian	24
D. Diagram Alir Penelitian	27

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisais Sel Elektrokimia.....	28
B. Hasil Penelitian.....	31
1. Perhitungan Laju Korosi.....	32
2. Pengukuran Tegangan Tanpa Beban	34
3. Pengukuran Tegangan Dengan Beban.....	36
4. Pengukuran Arus	38
5. Pengukuran Intensitas Cahaya.....	39
6. Perhitungan Hambatan Dalam.....	40
7. Perhitungan Daya	42
8. Karakteristik Listrik Tanpa Penggantian Air Laut	44

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	46
B. Saran.....	46

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Desain sistem sel elektrik menggunakan elektroda Cu-Zn dan elektrolit air laut	6
Gambar 2.2. Desain sel.....	8
Gambar 2.3. Desain sistem sel	9
Gambar 2.4. Skema sel Galvani	13
Gambar 2.5. Rangkaian standar sistem elektropelating	20
Gambar 3.1. Desain sel elektrokimia	25
Gambar 3.2. Desain sel elektrokimia ketika dibuka.....	26
Gambar 3.3. Desain sistem sel elektrokimia	26
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1. Serabut Cu yang telah dielektropelating.....	28
Gambar 4.2. Elektroda Zn setelah dibersihkan dengan alcohol dan aquades berbentuk silinder	29
Gambar 4.3. Lempengan Mg ukuran 1 x 2 cm.....	29
Gambar 4.4 Elektroda Cu dan Zn didalam sel Galvani.....	30
Gambar 4.5. Realisasi sel elektrokimia	30
Gambar 4.6. Instrumen pengukuran	31
Gambar 4.7. Pengukuran tegangan tanpa beban	35
Gambar 4.8. Lapisan rangkap listrik	36
Gambar 4.9. Pengukuran tegangan dengan beban	37

Gambar 4.10.	Pengukuran arus	38
Gambar 4.11.	Pengukuran intensitas cahaya yang dihasilkan LED 3 watt 12 V .	40
Gambar 4.12.	Perhitungan hambatan dalam	41
Gambar 4.13.	Perhitungan daya	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Nilai potensial logam elektroda.....	12
Tabel 2.2. Konstanta laju korosi.....	22
Tabel 4.1. Laju korosi elektroda Zn selama 72 jam pada sel elektrokimia tanpa anoda tumbal Mg.....	32
Tabel 4.2. Laju korosi elektroda Zn selama 72 jam pada sel elektrokimia dengan anoda tumbal Mg.....	33
Tabel 4.3. Karakteristik listrik elektroda Cu(Ag)-Zn dengan Mg setelah 30 hari	44

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar manusia yang terus menerus meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya akses listrik atau elektrifikasi serta perubahan gaya hidup masyarakat. Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik Indonesia 2017 mencapai 1.012 KWh/kapita, naik 5,9 persen dari tahun sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat, sedangkan kemampuan penyediaan tenaga listrik tidak seimbang dengan tingginya permintaan listrik yang dapat menghambat pertumbuhan ekonomi masyarakat (ESDM, 2017).

Tingginya kebutuhan energi listrik menuntut mencari berbagai sumber alternatif. Sumber alternatif ini haruslah menggunakan sumber terbarukan, agar tidak terjadi krisis dan kelangkaan energi. Salah satunya adalah air laut. Pemanfaatan air laut untuk menghasilkan energi listrik sangat potensial, ini dikarenakan Indonesia memiliki pulau sebanyak 17.508 dan garis pantai sepanjang 95.181 km. Berdasarkan data kementerian kelautan dan perikanan tahun 2004 luas lautan Indonesia adalah 5,8 juta km² yang terdiri dari laut teritorial 0,8 juta km², zona ekonomi eksklusif 2,7 juta km², dan laut nusantara 2,3 juta km². Secara kimia air

laut merupakan elektrolit yang dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan proses elektrokimia.

Salah satu metode untuk menghasilkan listrik dari air laut adalah proses elektrokimia. Penelitian tentang kelistrikan elektrokimia merupakan perkembangan hasil penelitian Alexander Volta. Volta memperlihatkan bahwa jika dua buah elektroda dengan beda potensial dimasukkan ke dalam elektrolit larutan asam atau garam maka akan dihasilkan energi listrik.

Salah satu pasangan elektroda yang dapat digunakan pada sistem elektrokimia adalah tembaga (Cu) dan seng (Zn). Namun permasalahan yang ada pada pasangan elektroda tersebut apabila diterapkan pada air laut maka mengalami korosi yang dapat menyebabkan penurunan kinerja sel.

Untuk mengatasi masalah korosi pada logam Cu dan Zn maka Rizki (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh pelapisan Cu menggunakan perak (Ag) terhadap karakteristik elektrik air laut. Penelitian ini dilakukan dengan menghubungkan 20 sel elektroda yang dihubungkan secara seri. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah elektroda tembaga yang dilapisi logam perak dan seng (Cu(Ag)-Zn). Pengambilan data massa elektroda dilakukan sebelum dan sesudah digunakan, sedangkan nilai karakteristik listrik diambil setiap 1 jam sekali selama 72 jam dengan 5 kali pengulangan setiap pengambilan data. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah pelapisan Cu menggunakan Ag mampu menghasilkan katoda Cu(Ag) yang lebih tahan terhadap korosi dari air laut dengan laju korosi 5 kali lebih rendah dibandingkan Cu, serta pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai karakteristik listrik yang lebih besar dan stabil

dibandingkan Cu-Zn. Namun pada penelitian ini elektroda Zn tidak dilindungi. Hal ini dapat menyebabkan Zn teroksidasi dan menghambat kinerja sel.

Penelitian laju korosi pada elektroda bahan Cu-Zn telah diteliti oleh Kamalia pada tahun 2019, dengan menggunakan metode *sacrificial anode* melalui variasi pengujian pada tiga elektroda yaitu Cu-Zn, Cu-Zn(Al), dan Cu-Zn(Mg) maka dari 20 sel didapat tegangan, daya, dan intensitas cahaya terbesar ada pada elektroda Cu-Zn(Mg) dengan besar tegangan maksimum sebesar 25,57 volt, daya listrik rata-rata sebesar 45,53 mW, dan intensitas cahaya maksimum sebesar 500 lux. Akan tetapi pada penelitian ini penambahan anoda korban Mg menimbulkan endapan yang menempel pada permukaan Zn dan elektroda Cu mengalami korosi.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka dilakukan sebuah penelitian mengenai analisis laju korosi dan karakteristik listrik elektrolit air laut dengan menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn. Elektroda Cu dilapisi dengan logam Ag, dan penambahan logam magnesium (Mg) pada Zn dengan menggunakan sekat berpori. Desain terbuat dari serabut elektroda Cu dengan panjang 2 m per helai sebanyak 25 helai dan pelat Zn dengan dimensi lebar 3,5 cm dan panjang 10 cm dibuat 20 sel dengan sistem tertutup menggunakan pipa paralon, kemudian elektroda dimasukkan pada sel tersebut dengan volume air laut 300 ml.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah berapa besar laju korosi Zn yang diproteksi dengan logam Mg sebagai elektroda tumbal dan karaktersitik listrik sel elektrokimia dengan pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dan pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg)?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui besar laju korosi Zn yang diproteksi dengan logam Mg sebagai elektroda tumbal dan karaktersitik listrik sel elektrokimia dengan pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dan pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn(Mg).

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan sebuah alat yang dapat menghasilkan energi listrik alternatif.
2. Memanfaatkan air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan.
3. Mengetahui besar laju korosi dan energi listrik yang dihasilkan dari sel elektrokimia yang dibuat.

E. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elektroda yang digunakan terdiri dari sepasang elektroda, yakni katoda terbuat dari serabut elektroda Cu dengan panjang 2 m per helai sebanyak 25

helai serabut Cu yang dilapisi logam Ag, dan pelat Zn dengan dimensi lebar 3,5 cm dan panjang 10 cm sebagai anoda, logam Mg dengan dimensi panjang 2 cm dan lebar 1 cm sebagai anoda tumbal untuk melindungi Zn.

2. Sel elektrokimia yang digunakan berjumlah 20 unit dengan volume air laut sebanyak 300 ml per unit.
3. Data pengamatan karakteristik listrik berupa tegangan dengan beban, tegangan tanpa beban, arus listrik, intensitas cahaya, hambatan dalam, dan daya diukur setiap 1 jam selama 72 jam, untuk data pengamatan laju korosi massa Zn diukur sebelum dan sesudah pengukuran selama 72 jam.
4. Laju korosi hanya diukur untuk elektroda Zn.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

1. Sistem Energi Listrik Dengan Elektrolit Air Laut

Penelitian ini dilakukan oleh Jovizal Aristian (2016), dengan menggunakan air laut sebagai larutan elektrolit dan Cu-Zn sebagai elektroda. Sistem dibuat dengan mendesain sebuah alat penghasil energi alternatif secara berkelanjutan dimana bahan elektrolit yang digunakan dapat diisi ulang dengan saluran pengisian dan pengosongan elektrolit. Desain alat dibuat dengan sistem tertutup terdiri dari 40 sel, setiap sel dihubungkan secara seri. Kerangka utama alat dibuat dengan bahan akrilik setebal 2 mm. Adapun gambar desain alat dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Desain sistem energi listrik menggunakan elektroda Cu-Zn dan elektrolit air laut (Aristian, 2016).

Hasil penelitian diperoleh dengan melakukan pengujian pengisian elektrolit air laut sebanyak 3 kali selama 72 jam, kemudian diuji dengan memberikan beban LED 1,2 watt. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama alat digunakan maka karakteristik listrik yang dihasilkan semakin menurun. Tegangan

maksimum yang dihasilkan alat tanpa beban adalah sebesar 32,81 volt untuk pengisian elektrolit pertama, 23,30 volt untuk pengisian elektrolit kedua, dan 14,60 volt untuk pengisian ketiga. Sedangkan daya listrik maksimum pada ketiga pengisian yaitu sebesar 47,89 watt pada pengisian elektrolit pertama.

Akan tetapi pada penelitian tersebut timbul korosi pada pelat elektroda yang kontak terhadap air laut dan tidak terdapat kajian secara kuantitatif untuk mengetahui besarnya laju korosi elektroda yang terjadi selama reaksi elektrokimia.

2. Analisis Laju Korosi Pada Sistem Energi Listrik Elektrolit Air Laut

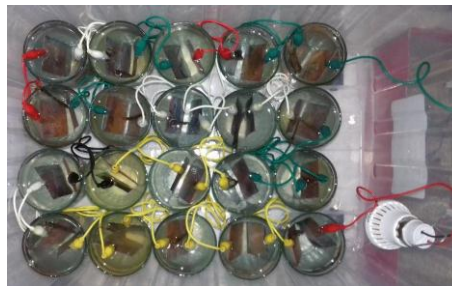
Penelitian ini dilakukan oleh Pangestu (2017) dengan tujuan untuk menekan laju korosi elektroda pada sistem energi listrik dengan elektrolit air laut dan Cu-Zn sebagai elektroda. Sistem energi listrik dibuat dengan mendesain sebuah alat penghasil energi listrik, bahan elektrolit yang digunakan dapat diisi ulang dengan sistem saluran pengisian dan pengosongan elektrolit. Sistem dibuat dari bahan akrilik yang memiliki ketebalan 2 mm sebanyak 20 sel dengan sistem tertutup. Pada sistem ini dibuat pula desain filter air yang digunakan untuk filtrasi air laut, dan dilakukan penambahan natrium bikarbonat (NaHCO_3).

Pengujian alat dilakukan setiap 24 jam selama 3 hari dengan melakukan pengisian sel elektrolit dengan dua jenis elektrolit yaitu air laut dan air laut yang difiltrasi dan ditambahkan natrium bikarbonat. Selanjutnya dilakukan pengukuran massa elektroda menggunakan timbangan digital setiap 1 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju korosi elektroda Zn pada alat yang menggunakan elektrolit air laut saja jauh lebih tinggi dibandingkan laju korosi elektroda Zn pada

alat yang menggunakan elektrolit air laut setelah penyaringan dan penambahan natrium bikarbonat.

3. Analisis Laju Korosi Elektroda Cu-Zn pada Sistem Energi Listrik Elektrolit Air Laut

Penelitian tentang laju korosi elektrolit air laut juga dilakukan oleh Kamalia (2019). Penelitian ini menggunakan tiga pasangan elektroda, yaitu Cu-Zn, Cu-ZnAl, dan Cu-ZnMg. Pada penelitian ini digunakan 20 buah sel dengan sistem tertutup yang tersusun secara seri. Elektrolit air laut yang digunakan disaring dan diganti secara berkala setiap 24 jam sekali. Adapun gambar desain sel dapat dilihat pada Gambar 2.2.



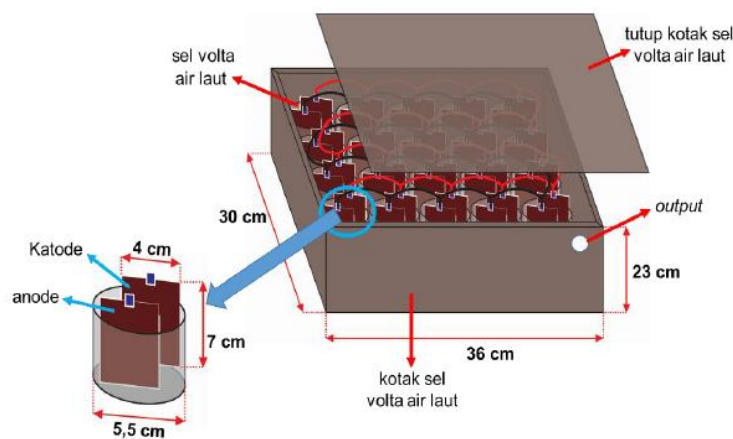
Gambar 2.2. Desain sel (Kamalia, 2019)

Penelitian ini menghasilkan tegangan maksimum yang dihasilkan alat saat tanpa beban adalah sebesar 25,67 volt untuk elektroda Cu-ZnMg, 12,89 volt untuk elektroda Cu-ZnAl, dan 12,67 volt untuk elektroda Cu-Zn. Daya listrik rata-rata yang mampu dihasilkan oleh alat adalah sebesar 45,53 mW untuk elektroda Cu-ZnMg, 15,79 mW untuk elektroda Cu-ZnAl, dan 12,53 mW untuk elektroda Cu-Zn. Intensitas cahaya maksimum yang dihasilkan oleh alat adalah sebesar 500 Lux untuk elektroda Cu-ZnMg, 271 *lux* untuk elektroda Cu-ZnAl, dan 213 *lux* untuk elektroda Cu-Zn. Laju korosi terendah dialami oleh elektroda Cu-ZnMg sebesar 0,622 mm/year setelah 72 jam pengujian. Akan tetapi pada penelitian tersebut

penambahan logam Mg sebagai anoda korban meninggalkan lapisan hitam pada elektroda Zn dan Cu.

4. Analisis Pengaruh Elektropelating Ag Pada Cu Terhadap Karakteristik Air laut

Penelitian Rizki (2019) dilakukan untuk memperoleh katoda yang lebih tahan terhadap korosi dari air laut metode yang digunakan adalah elektropelating Ag pada Cu, dan memperoleh data atau informasi mengenai pengaruh elektropelating Ag pada Cu terhadap karakteristik listrik yang dihasilkan. Sistem sel Volta yang digunakan berjumlah 20 sel yang disusun secara seri dalam wadah tertutup. Setiap sel berisi sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn. Dalam setiap sel diisi elektrolit air laut sebanyak 200 ml yang telah difilter sebanyak 3 kali dan diganti setiap 24 jam sekali. Adapun gambar dari sistem sel Volta pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Desain sistem sel (Rizki, 2019).

Data pengamatan massa elektroda diambil sebelum dan setelah digunakan selama 72 jam, sedangkan nilai karakteristik listrik diambil setiap 1 jam sekali selama 72 jam dengan 5 kali pengulangan setiap pengambilan data.

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu elektropelating Ag pada Cu mampu menghasilkan katoda Cu(Ag) yang lebih tahan terhadap korosi dari air laut dengan laju korosi 5 kali lebih rendah dibandingkan Cu. Pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai kelistrikan yang lebih besar dan stabil dibandingkan Cu-Zn

B. Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian ini dilakukan analisis laju korosi dan karakteristik listrik elektroda Cu(Ag)-Zn dalam bentuk serabut Cu dan pelat Zn pada elektrolit air laut. Desain elektroda terbuat dari serabut Cu dengan panjang 2 m per helai sebanyak 25 helai, dan pelat Zn dengan dimensi panjang 10 cm dan lebar 3,5 cm. Cu dilapisi dengan logam Ag menggunakan metode penyepuhan (elektropelating) dan penambahan logam Mg sebagai anoda tumbal pada Zn menggunakan bahan berpori yang bertujuan untuk mengurangi laju korosi. Sel elektrokimia dibuat berjumlah 20 unit dengan sistem tertutup menggunakan pipa paralon, kemudian elektroda dimasukan pada setiap sel dengan volume air laut 300 ml, selanjutnya sel elektrokimia disusun secara seri. Data yang diambil adalah massa anoda Zn sebelum dan sesudah pengukuran, tegangan tanpa beban, tegangan dengan beban, arus listrik, dan intensitas cahaya. Dari data pengamatan tersebut, dihitung besarnya laju korosi anoda Zn, hambatan dalam, dan daya.

C. Teori Dasar

1. Reaksi Elektrokimia

Reaksi Elektrokimia adalah reaksi kimia yang berlangsung dalam larutan pada antarmuka konduktor elektron (logam atau semikonduktor) dan konduktor ionik (elektrolit). Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron bebas antara elektroda dan elektrolit.

Reaksi yang terjadi pada elektrokimia adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron yang dapat menghasilkan kenaikan bilangan oksidasi, sedangkan reaksi reduksi adalah reaksi penangkapan elektron yang dapat menghasilkan penurunan bilangan oksidasi (Petrucci, 1999).

Salah satu pemanfaatan reaksi elektrokimia dikenal sebagai sel elektrokimia yang pertama kali dikenalkan oleh Alexander Volta dan Luigi Galvani pada tahun 1737-1798 (Giancoli, 1998).

Komponen sel elektrokimia terdiri dari elektroda dan elektrolit. Elektroda merupakan konduktor yang dapat dilalui arus listrik. Elektroda terdiri dari dua material penghantar listrik yang disebut dengan katoda dan anoda. Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Potensial suatu elektroda hanya dapat dinyatakan terhadap potensial elektroda pasangannya. Adapun besar potensial logam yang biasa digunakan sebagai elektroda dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai potensial logam elektroda (Vlack, 1992).

Reaksi Reduksi			Logam	E° (volt)
Au ³⁺	+	3e ⁻	Au	+1,50
O ₂	+	4H ⁺ + 4e ⁻	2H ₂ O	+1,23
Pt ²⁺	+	2e ⁻	Pt	+1,20
Ag ⁺	+	e ⁻	Ag	+0,80
Fe ³⁺	+	e ⁻	Fe ²⁺	+0,77
O ₂	+	2H ₂ O + 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

Dari harga-harga tersebut terlihat bahwa potensial elektroda Cu terhadap Zn dapat dihitung dengan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$E_0 \text{ sel} = E_0 \text{ katoda} - E_0 \text{ anoda} \quad (2.1)$$

Sehingga E₀ sel adalah sebesar 0,34 V - (-0,76 V) = 1,1 V (Brady, 1999).

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ionnya.

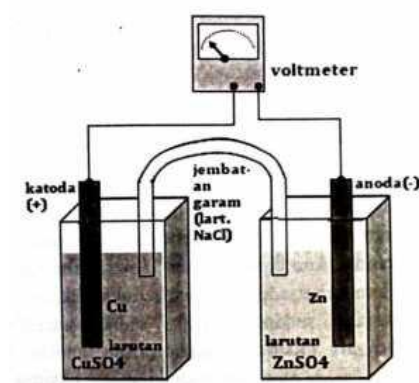
Elektrolit dikelompokkan menjadi elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan non elektrolit. Elektrolit kuat memiliki sifat menghantarkan arus listrik, hal ini disebabkan karena elektrolit kuat terionisasi dengan sempurna (Brady, 1999).

Salah satu contoh elektrolit kuat adalah NaCl. NaCl dapat menjadi elektrolit

dalam bentuk larutan dalam sistem aqueous dan lelehan, sedangkan dalam bentuk padat senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit (Riyanto, 2013).

Berdasarkan fungsinya sel elektrokimia terbagi menjadi dua yaitu sel Volta atau sel Galvani dan sel elektrolisis. Sel Galvani adalah sel yang menghasilkan arus listrik. Pada sel Galvani, anoda berperan sebagai elektroda negatif dan katoda berperan sebagai elektroda positif. Arus listrik (*hole*) mengalir dari katoda menuju anoda, sedangkan elektron bergerak dari anoda menuju katoda. Reaksi kimia yang terjadi pada sel Galvani berlangsung secara spontan. Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk berlangsungnya reaksi kimia. Pada sel elektrolisis, reaksi kimia tidak terjadi secara spontan tetapi melalui perbedaan potensial yang dipicu dari luar sistem. Pada sel ini anoda berperan sebagai elektroda positif dan katoda berperan sebagai elektroda negatif, sehingga arus listrik (*hole*) mengalir dari anoda ke katoda, sedangkan elektron mengalir dari katoda menuju anoda.

Skema sel Galvani dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Skema sel Galvani

Larutan ZnSO_4 dan larutan CuSO_4 seperti terlihat pada skema sel Galvani (Gambar 2.4) merupakan elektrolit yang mengandung ion-ion yang bebas bergerak dalam sistem. Pada saat elektron-elektron yang bermuatan negatif melewati sirkuit eksternal, ion-ion positif Cu^{2+} bergerak ke arah elektroda yang bermuatan positif, yaitu katoda Cu dan berikatan dengan elektron sehingga menjadi Cu. Untuk menghindari pencampuran kedua jenis elektrolit, maka kedua sel anoda dan katoda dipisahkan dan dihubungkan dengan suatu jembatan garam (*salt bridge*). Dalam suatu sel elektrokimia, jembatan garam menjaga elektronetralitas dalam sel dan memastikan arus tetap mengalir dalam sel. Apabila tidak ada jembatan garam, maka sel anoda dan sel katoda tidak akan terhubung secara listrik. Apabila kedua sel berada dalam satu wadah, maka ion-ion dalam larutan elektrolit akan bercampur dan lebih mudah bereaksi secara langsung daripada melewatkan elektron-elektron ke sirkuit eksternal (Rahmawati, 2013).

2. Karakteristik Elektroda Cu dan Zn

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari bahasa latin *cuprum* dan nomor atom 29. Bernomor massa 63,54 dan merupakan unsur logam dengan warna kemerahan. Cu merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Cu murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Cu mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi diantara semua logam-logam pada suhu kamar, hanya Ag yang mempunyai konduktivitas listrik lebih tinggi dari pada Cu, namun apabila dioksidasikan Cu adalah besi lemah. Cu memiliki ciri warna kemerahan, hal itu disebabkan struktur jalurnya memantulkan cahaya merah dan jingga serta menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak. Cu sangat langka dan jarang diperoleh

dalam bentuk murni. Logam ini termasuk logam berat non ferro yaitu logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar serta memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik. Produksi Cu sebagian besar digunakan sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik. Biasanya digunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam-logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn (Milanino, et al,1989).

Cu merupakan logam yang memiliki sifat keras apabila Cu tersebut tidak murni, Cu mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Cu memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yaitu sebesar $59,6 \times 10^6 \text{ } \underline{\text{S}}/\text{m}$ (Hammond, 2004).

Zn dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia Zn mirip dengan Mg, hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Pelapisan Zn pada baja untuk mencegah perkaratan merupakan aplikasi utama Zn, aplikasi lainnya meliputi penggunaannya pada baterai. Zn adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Zn dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Zn dalam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung Zn di alam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smithsonite, willemite dan zinkit (Widowati, dkk, 2008).

3. Karakteristik Logam Ag dan Mg

Ag adalah unsur logam dengan nomor atom 47 yang memiliki lambang Ag. Ag murni termasuk logam transisi yang lunak, berwarna putih, dan berkilau. Ag murni memiliki nilai konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi diantara semua logam, serta nilai resistansinya yang sangat kecil. Nilai konduktivitas listrik dan termal dari logam Ag mencapai $6,3 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ dan $429 \text{ Wm}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Ag memiliki nilai densitas sebesar $10,49 \text{ gr/cm}^3$. Ag murni bersifat stabil di udara murni dan air, tetapi dapat ternoda ketika terkena ozon, hidrogen sulfida, atau udara yang mengandung sulfur. Ag banyak digunakan untuk perhiasan, koin, alat fotografi, alat-alat kesehatan, dan baterai. Reaksi Ag dengan unsur lainnya juga banyak dimanfaatkan, seperti Ag iodida digunakan dalam penyemaian awan untuk menghasilkan hujan dan AgCl memiliki sifat optik yang menarik karena dapat dibuat transparan (Hammond, 2004).

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

4. Karakteristik Air Laut

Air laut merupakan air murni yang didalamnya terdiri dari 96,5 % air dan 3,5 % zat terlarut yang biasa disebut garam. Garam-garaman utama yang terkandung

dalam air laut adalah klorida (55 %), natrium (31 %), sulfat (8 %), Mg (4 %), kalsium (1 %), potasium (1 %), dan sisanya tidak sampai 1 % terdiri dari bikarbonat, bromida, borak, strontium, dan florida.

Banyaknya kandungan zat terlarut dalam air laut biasa disebut salinitas. Umumnya salinitas dinyatakan dengan satuan per seribu (‰) yang menunjukkan banyaknya gram zat terlarut dalam setiap 1000 gram air laut. Salinitas rata-rata dalam air laut adalah 35 ‰. Semakin tinggi salinitas air laut, maka semakin tinggi sifat elektrolitnya (Nybakken, 1992).

Air laut termasuk larutan elektrolit, karena adanya kandungan garam natrium klorida (NaCl) yang cukup tinggi. NaCl merupakan suatu garam yang dapat terionisasi secara sempurna menjadi ion Na^+ dan Cl^- . Adanya ion bebas maka air laut dapat menghantarkan arus listrik (Kuwahara, 2001). Akan tetapi, laju korosi di lingkungan air laut sangat tinggi karena faktor-faktor berikut:

a. Tingginya konsentrasi garam-garam terlarut

Meningkatnya kandungan NaCl dalam air laut menyebabkan laju korosi juga meningkat.

b. Perubahan temperatur air laut

Meningkatnya temperatur air laut menyebabkan laju korosi logam meningkat pula.

c. Kandungan oksigen terlarut

Adanya perbedaan kandungan oksigen dalam air laut menyebabkan terjadinya korosi lokal pada logam.

d. Keasaman (pH) air laut

Air laut umumnya memiliki $\text{pH} > 8$ pada permukaan. Pada pH ini dapat menyebabkan terjadi korosi pada logam dalam air laut.

e. Organisme biologi

Air laut merupakan media aktif bagi sejumlah mikroorganisme. Mikroorganisme ini bersama-sama dengan permukaan logam dalam air laut akan menyebabkan terjadinya korosi merata atau lokal (Jones, 1992).

5. Proteksi Katodik

Proteksi katodik adalah sistem perlindungan permukaan logam dengan cara melakukan arus searah yang memadai ke permukaan logam dan mengkonversikan semua daerah anoda 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 anoda korban (Chodijah, 2008).

a. Proteksi katodik metode anoda korban

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

b. *Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)*

Untuk struktur (bangunan) yang lebih besar, anoda galvanik tidak dapat secara ekonomis mengalirkan arus yang cukup untuk melakukan

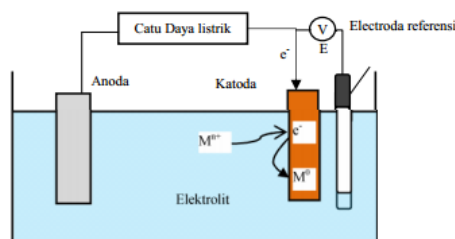
perlindungan yang menyeluruh. Sistem *Impressed Current Cathodic Protection* (ICCP) menggunakan anoda yang dihubungkan dengan sumber arus searah (DC) yang dinamakan *cathodic protection rectifier*. Anoda untuk sistem ICCP dapat berbentuk batangan turbular atau pita panjang dari berbagai material khusus. Material ini dapat berupa *high silicon cast iron* (campuran besi dan silikon), grafit, campuran logam oksida, pelatina dan niobium serta material lainnya.

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

6. Elektropelating

Elektropelating merupakan salah satu aplikasi dari sel elektrolisis. Proses elektropelating atau elektrodaposisi atau juga dikenal dengan penyepuhan adalah proses terjadinya reaksi reduksi ion logam terlarut di dalam elektrolit pada permukaan elektroda (katoda), sehingga logam tersebut mengendap di permukaannya. Sistem elektropelating terdiri dari catu daya, larutan elektrolit, katoda, anoda, dan jika diperlukan ada tambahan elektroda referensi. Supaya reaksi berjalan, elektroda dihubungkan ke catu daya (*power supply*) kemudian

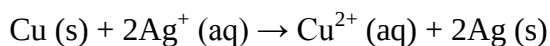
dimasukkan ke dalam elektrolit di dalam reaktor atau sel elektrokimia, seperti pada Gambar 2.5. Elektroda referensi digunakan untuk mengukur potensial elektroda (Paunovic dan Schlesinger, 1998).



Gambar 2.5. Rangkaian standar sistem elektropelating (Widayanto dan Roy, 2011).

Reaksi reduksi pada permukaan katoda dapat berlangsung karena pergeseran potensial elektroda dari kondisi setimbangnya yang disebabkan oleh dorongan potensial listrik (*potential driving force*) dari catu daya. Perbedaan potensial ini disebut *overpotential* (η). Pada saat elektroda disambungkan ke catu daya, arus listrik akan mengalir dari katoda ke anoda. Kemudian, reaksi reduksi akan terjadi pada ion-ion logam, misalnya L^{n+} menjadi logam padat yang mengendap pada permukaan katoda (Paunovic dan Schlesinger, 1998). Elektropelating sangat dipengaruhi oleh geometri sel elektrokimia, pH dan konduktivitas larutan elektrolit, konduktivitas elektroda, kinetika reaksi elektrokimia di permukaan elektroda, dan transfer massa ion-ion yang bereaksi (Widayatno, 2016).

Pada penelitian ini dilakukan elektropelating Ag pada Cu agar diperoleh elektroda yang tahan terhadap korosi air laut. Ag disini bertindak sebagai anoda (mengalami reaksi oksidasi) dan Cu sebagai katoda (mengalami reaksi reduksi). Reaksi yang terjadi pada peristiwa ini adalah.



Kualitas lapisan Ag hasil elektropelating terlihat dari morfologi dan ketebalan lapisan yang seragam. Hal ini sangat dipengaruhi oleh distribusi rapat arus listrik. Ketebalan lapisan Ag tidak akan seragam jika densitas arus tidak terdistribusi dengan baik. Oleh karena itu, desain suatu sistem elektropelating sangat penting supaya rapat arus dapat terdistribusi dengan baik, sehingga ketebalan yang seragam dapat dicapai. Salah satu faktor penting untuk mencapai distribusi arus yang seragam adalah geometri sel elektropelating, yaitu penempatan dan jarak antara anoda dan katoda (Widayatno, 2016; Widayatno dan Roy, 2014).

Elektropelating logam dengan Ag termasuk pelapisan yang banyak diterapkan pada perhiasan-perhiasan. Hasil pelapisan Ag akan lebih baik jika sebelumnya bahan telah dilapisi dengan nikel (Ni) atau Cu (Riyanto, 2013). Pada tahun 2015 telah dilakukan penelitian yang menunjukkan jika elektropelating Ag pada Cu dapat melindungi Cu dari korosi setelah diuji dalam larutan HCl 10% selama 24 jam (Subekti, 2015).

7. Laju Korosi

Perhitungan laju korosi merupakan salah satu *corrosion prediction* yang digunakan untuk mengetahui kecepatan suatu material untuk terkorosi, sehingga material tersebut mulai terkorosi dapat diprediksi. Teknik pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan metode kehilangan massa dan metode elektrokimia (diagram polarisasi, *linear polarization resistance*, *electrochemical impedance spectroscopy*, potensial korosi dan *electrochemical noise*). Namun, metode yang sering digunakan adalah kehilangan massa (*mass loss*). *Mass loss* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan laju korosi. Prinsip dasar

pengujian ini yaitu dengan menghitung kehilangan massa yang terjadi pada suatu sampel yang telah ditimbang, kemudian direndam pada larutan selama beberapa waktu dan kemudian dilakukan pembersihan untuk membersihkan produk korosinya lalu ditimbang kembali. Sehingga didapatkan data massa sebelum dan sesudah perendaman. Kehilangan massa yang terjadi kemudian dikonversikan menjadi suatu laju korosi dengan memperhitungkan kehilangan massa, luas permukaan terendam, waktu perendaman, dan massa jenis (Jones, 1996).

Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan massa dengan rumus:

$$R = \frac{K \times m}{\rho \times A \times T} \quad (2.1)$$

dengan:

R = Laju korosi (mm/tahun);

K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$);

m = $m_1 - m_2$ = massa awal – massa akhir (gr);

ρ = massa jenis (gr/cm^3);

A = Luas permukaan (cm^2);

T = Waktu (jam); (Karim dan Yusuf, 2012).

Dengan konstanta yang digunakan tergantung dari unit satuan yang akan digunakan, ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konstata laju korosi (Jawe, dkk, 2008).

Satuan Laju Korosi	Konstanta
<i>Mils per year (mpy)</i>	$3,45 \times 10^6$
<i>Inches per year (ipy)</i>	$3,45 \times 10^3$
<i>Inches per month (ipm)</i>	$2,87 \times 10^2$
<i>Millimeters per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^7$
<i>Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)</i>	$8,76 \times 10^4$
<i>Picometers per second (pm/s)</i>	$2,78 \times 10^6$
<i>Grams per square metre per hour ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)</i>	$1,00 \times 10^4 \times D^A$
<i>Milligrams per square decimetre per day (mdd)</i>	$2,40 \times 10^6 \times D^A$
<i>Micrograms per square metre per second ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$)</i>	$2,78 \times 10^6 \times D^A$

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan April 2019 sampai November 2019.

B. Alat dan Bahan

Alat penunjang yang digunakan didalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin gerinda, gergaji besi, dan gunting untuk memotong paralon, Cu, dan Zn dalam pembuatan elektroda.
2. Penggaris, digunakan untuk mengukur dimensi elektroda.
3. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume air laut, HNO_3 , dan AgNO_3 .
4. Labu ukur, digunakan untuk mengencerkan AgNO_3 .
5. Pipet tetes, digunakan untuk mempermudah pemindahan larutan ketika proses pengenceran AgNO_3 .
6. Multimeter, digunakan untuk mengukur tegangan dan arus.
7. *Lightmeter*, digunakan untuk mengukur intensitas cahaya.
8. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang massa elektroda Zn.
9. Filter air, digunakan untuk menyaring air laut.
10. Jepit buaya, digunakan sebagai media penghubung elektroda.

11. Lampu LED 3 watt 12 volt, digunakan sebagai beban energi listrik dari alat.
12. Kamera digunakan untuk mengambil gambar penelitian.
13. Kertas, pulpen dan spidol, digunakan untuk mencatat data pengamatan dan keperluan lainnya.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

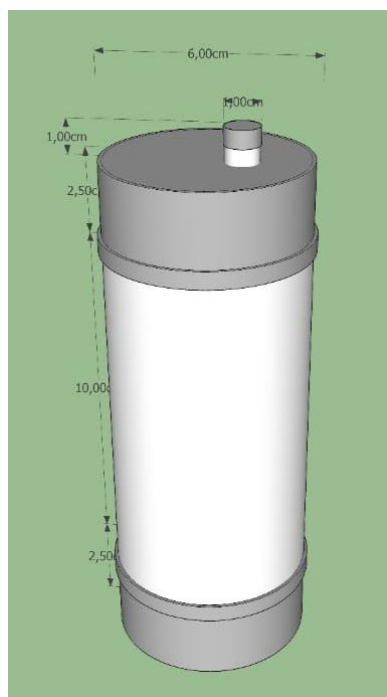
1. Air laut yang telah disaring, digunakan sebagai elektrolit.
2. Serabut Cu berukuran panjang 200 cm, digunakan sebagai katoda
3. Lempengan Zn murni berukuran 10 x 3,5 cm, digunakan sebagai anoda.
4. Lempengan Mg, digunakan sebagai anoda tumbal.
5. Larutan perak (AgNO_3) 0,02 M, digunakan untuk melapisi Cu.
6. *Aquades*, digunakan untuk mengencerkan larutan AgNO_3 .
7. Pipa paralon, digunakan sebagai kerangka utama sel elektrokimia.
8. Larutan HNO_3 1%, digunakan untuk membersihkan logam Cu.
9. Alkohol 70%, digunakan untuk membersihkan logam Cu dan Zn.
10. Lem korea, dan lem PVC, digunakan sebagai perekat untuk membentuk sel elektrokimia.
11. Kertas saring, digunakan sebagai bahan berpori untuk menutupi Mg pada kerangka alat.
12. Amplas, digunakan untuk menghaluskan permukaan pipa paralon.

C. Prosedur Penelitian

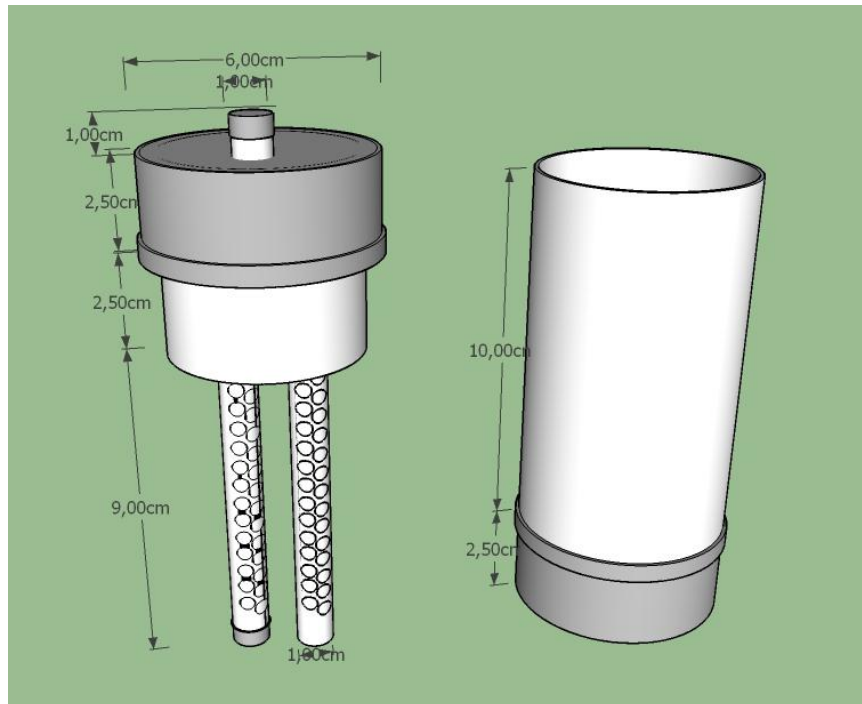
Penelitian dilakukan untuk mengetahui laju korosi dan karakteristik listrik air laut menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn, dengan melapisi elektroda Cu menggunakan metode elektropelating dengan logam Ag dan penambahan anoda tumbal logam

Mg pada Zn dengan sekat berpori. Desain terbuat dari serabut elektroda Cu dengan panjang 2 m per helai sebanyak 25 helai, dan pelat Zn dengan dimensi lebar 3,5 cm dan panjang 10 cm yang disusun secara paralel di dalam 1 sel. Pembuatan media sel elektrolit air laut dibuat dari bahan pipa paralon berbentuk silinder sebanyak 20 sel dengan sistem tertutup, kemudian elektroda dimasukkan pada sel, dan volume air laut yang telah disaring digunakan sebanyak 300 ml.

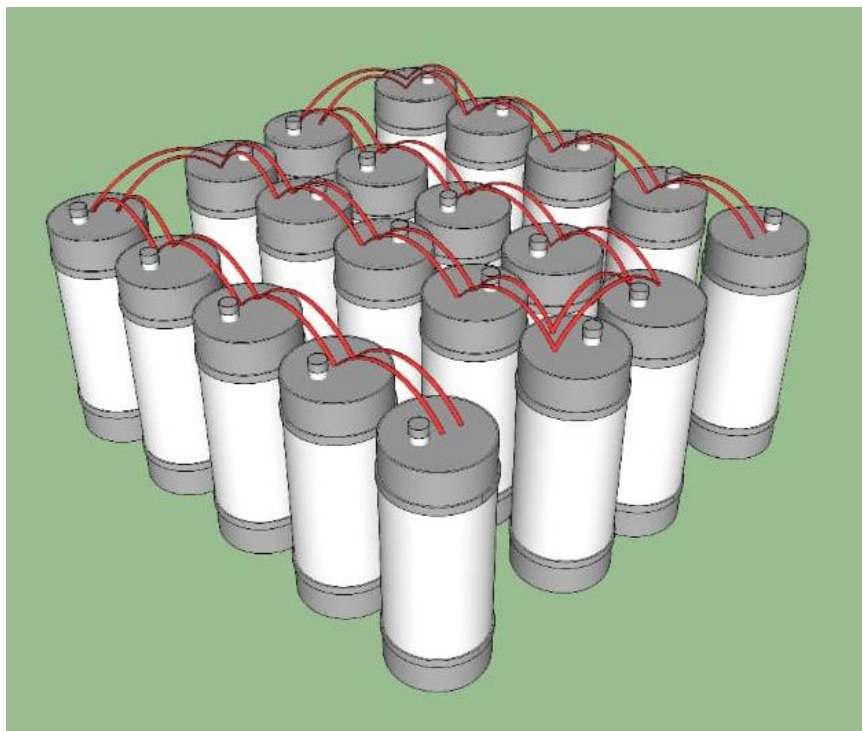
Setelah alat terbentuk, akan dilakukan pengambilan data karakteristik listrik menggunakan multimeter berupa tegangan tanpa beban, tegangan dengan beban berupa lampu 3 watt 12 volt, arus, intensitas cahaya yang diambil setiap 1 jam selama 72 jam, daya dan hambatan dalam dihitung setelah data pengamatan didapat. Pengambilan data massa Zn diambil sebelum dan sesudah pengukuran karakteristik listrik selama 72 jam. Desain alat pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. sampai dengan Gambar 3.4.



Gambar 3.1. Desain sel elektrokimia



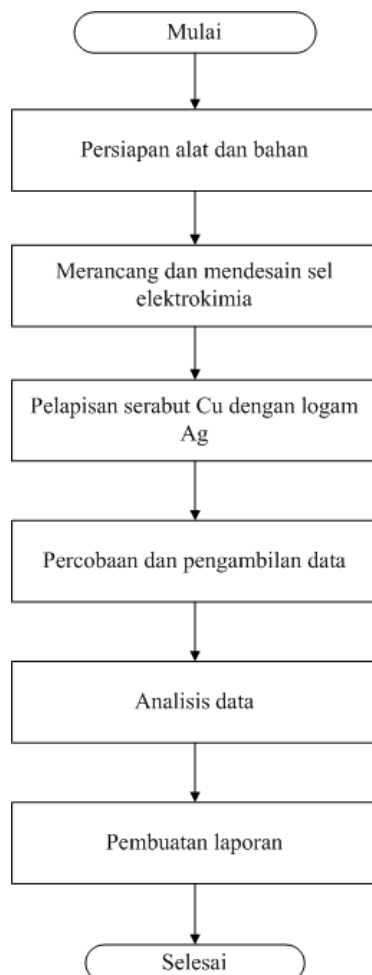
Gambar 3.2. Desain sel elektrokimia ketika dibuka



Gambar 3.3. Desain sistem sel elektrokimia

D. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan Mg sebagai anoda tumbal menghasilkan data karakteristik listrik tegangan, arus, intensitas cahaya, dan daya yang lebih besar sekaligus menurunkan hambatan dalam pada sel dibanding dengan sel elektrokimia tanpa penggunaan anoda tumbal Mg.
2. Penggunaan anoda tumbal Mg pada sel elektrokimia menurunkan laju korosi pada elektroda Zn 3 kali lebih rendah daripada tanpa anoda tumbal Mg.
3. Sel elektrokimia yang dibuat pada penelitian ini menunjukkan potensi air laut untuk menghasilkan listrik sebagai sumber energi listrik alternatif.

B. Saran

Saran dari peneliti yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengamatan hubungan variasi ukuran Mg terhadap waktu terlarut Mg secara keseluruhan.

2. Memperlama waktu pengamatan karakteristik listrik dan laju korosi anoda Zn untuk melihat pengaruh pemanfaatan Mg pada waktu lama, setelah peran Mg sebagai anoda tumbal tidak berlaku (Mg terlarut secara keseluruhan).
3. Mengamati pengaruh Mg terlarut terhadap peningkatan pH air laut yang berpengaruh pada laju korosi pada anoda.

DAFTAR PUSTAKA

- Aristian, J. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrik Berbasis Elektrolit Air Laut sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (*Sustainable Energy*). (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.
- Brady, J. E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Sukmariah Maun. Binarupa Aksara Publisher. Tangerang..
- Chodijah, S. 2008. Efektifitas Penggunaan Pelapis Epoksi terhadap Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53 di dalam Tanah. (Skripsi). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Energi Sumber Daya Manusia (ESDM). 2017. *Pemodelan dan Prakiraan Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT, dan Listrik*. Pusat Data Teknologi dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Giancoli. 1998. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Erlangga, Jakarta. 61-68 hlm.
- Hammond, C. R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition*. CRC press.
- Jawe, M., Suprpta, D. N., Arcana, N., Indrayani, A. W., dan Subawa, A. A. N. 2008. *The Extract of Purple Sweet Potato Decreases Blood and Liver MDA of MICE After Intense Physical Activity*. Laboratorium Farmakologi Universitas Udayana. Bali.
- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion, 2nd ed*. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey.
- Kamalia, L., Pauzi, G. A., Suciwati, S. W. 2019. Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu-Zn dengan Metode Sacrificial Anode Pada Sistem Energi Listrik alternatif Berbasis Air laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 06, No. 02. pp 249-255. tahun 2018.

- Kang, J. H. 2015. Fabrication and Characterization of Nano Carbon Based Electrochemical Double Layer Capacitors. (*Thesis*). University of Waterloo. Canada.
- Karim, A., Abdul, dan Zulkifli, A. Y. 2012. Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka terhadap Tingkat Laju Korosi pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*. Vol 10. No. 2. pp 205-212.
- Kuwahara. 2001. *Geologi Laut*. Erlangga. Jakarta.
- Lin, C., Laborda, E., Mcauley, C. B., dan Compton, R. 2016. *Electrical Double Layer Effect on Ion Transfer Reaction*. University of Oxford. United Kingdom.
- Milanino, R., Rainsford, K. D., dan Velo, G. P. 1989. *Copper and Zinc in Inflammation*. Kluwer Academic Publishers. USA.
- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Pangestu, S. S. 2017. Analisis Laju Korosi Pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Paunovic, M. dan Schlesinger, M. 1998. *Fundamentals of Electrochemical Fabrication*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pauzi, G. A., Riski, K. C., Suciati, S. W., Junaidi, Surtono, A., Supriyanto, A., and Warsito. 2018. Improvement of Electrical Characteristics of Electrochemical Cells made from Sea Water Using Electroplating Method of Cu (Ag)-Zn Electrode as Renewable Energy Source. *Proceeding 2ND International Conference Applied*.
- Petrucci, R. H. 1999. *Kimia Dasar*. Alih Bahasa Achmadi, S. Erlangga. Jakarta.
- Rahmawati, F. 2013. *Elektrokimia Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rizki, K. C. 2019. Analisis Pengaruh Elektroplating Perak (Ag) Pada Tembaga (Cu) Terhadap Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rosauro, O. R. dan Jumamil, M. A. Empirical Equations Related To Electricity Generation From Saltwater: Contribution To Renewable Energy. *NMSCT Research Journal*. Vol. 3, No. 1. Hal. 17-25. Desember 2015.

- Subekti, K. 2015. Metode Elektroplating pada Subtrat Tembaga (Cu) dengan Pelapis Perak (Ag) untuk Meningkatkan Keindahan Dekoratif dan Ketahanan Korosi Logam. (*Skripsi*). UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Trhethewey, K. R. dan Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*. Diterjemahkan oleh Alex Tri Kantjono Widodo. Gramedia. Jakarta.
- 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 Both, W. 1984. *Teknologi untuk Bangunan Mesin Bahan-Bahan 1*. Diterjemahkan oleh Haroen. Erlangga. Jakarta.
- Widayatno, T. dan Roy, S. 2011. Electrodeposition of Nickel Pattern without Photolithography of Substrates. *Proceeding of GPE2011-3rd International Congress on Green Process Engineering*. Kuala Lumpur. Malaysia.
- Widayatno, T. 2016. Modelling and Simulation of Current Distribution of Nickel Electrodeposition from Low Electrolyte Concentration at A Narrow Interelectrode Gap. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11 No. 8. Hal. 5183.
- Widowati, W., Astiana, S., dan Raymond, J. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran* Penerbit Andi. Yogyakarta.