

**ANALISIS PENGARUH VARIASI pH LARUTAN ACID ZINC PADA
SISTEM SEL VOLTA DUA KOMPARTEMEN DENGAN
ELEKTRODE Cu(Ag)-Zn**

(Skripsi)

Oleh
Nilla Anggi Pratiwi



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI pH LARUTAN *ACID ZINC* PADA SISTEM SEL VOLTA DUA KOMPARTEMEN DENGAN ELEKTRODE Cu(Ag)-Zn

Oleh

NILLA ANGGI PRATIWI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi pH larutan *acid zinc* pada sistem sel volta dua kompartemen dengan elektrode Cu(Ag)-Zn terhadap nilai karakteristik elektrik dan laju korosi yang dihasilkan. Pasangan Cu(Ag)-Zn digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus dalam sel dengan elektrolit air laut dan larutan *acid zinc*. Dua kompartemen dibatasi dengan jembatan garam yang terbuat dari campuran Al_2O_3 (aluminium oksida) 1 mol dan NaCl (air laut) 1 mol yang terlarut dalam semen putih Tiga Roda. Sel volta terdiri dari 5 sel yang disusun secara seri untuk tiap variasi pH dengan nilai 4, 5 dan 6. Pada setiap sel terisi dengan $\pm 250\text{ml}$ air laut (bagian katoda) dan $\pm 200\text{ ml}$ larutan *acid zinc* (bagian anoda). Sel volta diukur dengan multimeter setiap 1 jam sekali selama 3 hari (72 jam). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa dengan penggunaan elektrolit larutan *acid zinc* yang memiliki nilai pH lebih rendah akan meningkatkan nilai karakteristik elektrik serta meningkatkan laju korosi yang dihasilkan sel volta.

Kata Kunci: Jembatan garam, karakteristik elektrik, larutan *acid zinc*, sel volta

ABSTRACT

ANALYSIS THE EFFECT OF VARIATIONS IN pH ACID ZINC SOLUTION ON A TWO COMPARTMENTS VOLTAIC CELL SYSTEM WITH Cu(Ag)-Zn ELECTRODES

By

NILLA ANGGI PRATIWI

This research was conducted to analyze the effect of variations in pH of acid zinc solution in a two-compartment voltaic cell system with Cu(Ag)-Zn electrodes on the value of electrical characteristics and the resulting corrosion rate. The Cu(Ag)-Zn pair is used to generate voltage and current in the cell with seawater electrolyte and zinc acid solution. The two compartments are lined with salt bridge made from mixture of 1 mole of Al₂O₃ (aluminum oxide) and 1 mole of NaCl (sea water) dissolved in "tiga roda" white cement. The voltaic cell consisted of 5 cells arranged in series for each pH variation with values of 4, 5 and 6. Each cell is filled with ± 250 ml of seawater (cathode part) and ± 200 ml of acid zinc solution (anode part). Cell voltaic was measured with a multimeter every 1 hour for 3 days (72 hours). Based on the research that has been done, it can be concluded that by using an acid zinc electrolyte solution which has a lower pH value, it will increase the value of the electrical characteristics and increase the corrosion rate produced by voltaic cell.

Kata Kunci: *Salt bridge, electrical characteristics, acid zinc solution, voltaic cell*

**ANALISIS PENGARUH VARIASI pH LARUTAN ACID ZINC PADA
SISTEM SEL VOLTA DUA KOMPARTEMEN DENGAN
ELEKTRODE Cu(Ag)-Zn**

Oleh

Nilla Anggi Pratiwi

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

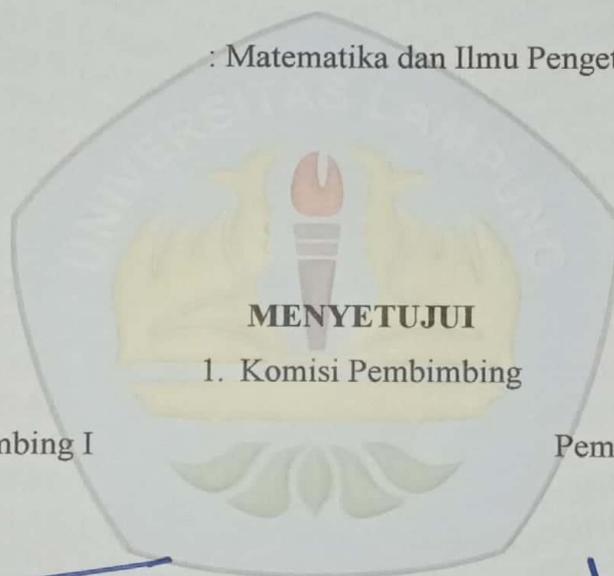
Judul Penelitian : **Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan *Acid Zinc* Pada Sistem Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn**

Nama Mahasiswa : Nilla Anggi Pratiwi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1617041046

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002

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

2. Ketua Jurusan Fisika

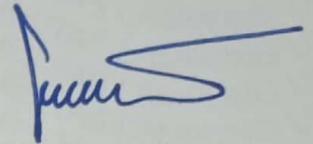
Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 19801010 200501 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

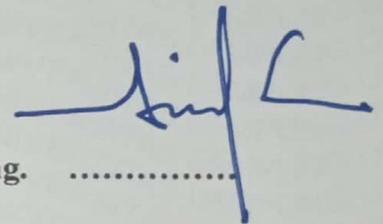
Ketua

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



Sekretaris

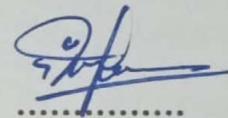
: **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



Penguji

Bukan pembimbing

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

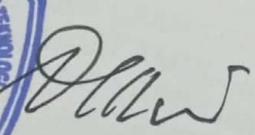


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.

NIP. 19740705 200003 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi

: 23 Desember 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa 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 ada pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 27 Desember 2021

Penulis



Nilla Anggi Pratiwi
NPM. 1617041046

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nilla Anggi Pratiwi, dilahirkan pada tanggal 19 Mei 1998 di Banjar Sari. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Narwono dan Ibu Ambar Rita. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar IT Bustanul Ulum pada tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama IT Bustanul Ulum pada tahun 2013 dan Madrasah Aliyah Negeri 1 Lampung Tengah pada tahun 2016.

Penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN tahun 2016. Selama menempuh pendidikan penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Fisika Dasar, Asisten Praktikum Elektronika Dasar, Asisten Praktikum Mikrokontroler dan Asisten Praktikum Optik. Penulis pernah aktif di kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (Himafi) periode 2016/2017 sebagai anggota kaderisasi. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan, dan membuat laporan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Analisis sistem kerja sensor *ultrasonic* pada RCD (*Rotary Car Dumper*) 4 di PT. Bukit Asam Tbk. Unit Pelabuhan Tarahan”. Penulis juga pernah melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung tahun 2019 di Desa Sambirejo

Kecamatan Jabung Kabupaten Lampung Timur. Penulis juga menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Fisika dengan judul **”Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan *Acid Zinc* Pada Sistem Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn”**

MOTTO

*“ Jangan berfikir doamu tidak terakbul, Allah selalu mendengarmu, mengurus
kebutuhanmu dan menetapkan kebaikan untukmu ”
(Penulis)*

*“ Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan ”
(QS. Al – Insyirah : 5 - 6)*

*“ Jika kita tidak bisa membantu orang lain, setidaknya kita tidak menyusahkan
orang lain ”
(Penulis)*

PERSEMBAHAN

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

Bapak Narwono dan Ibu Ambar Rita

Kedua orang tua yang telah banyak berkorban tanpa lelah dan menjadi motivasi hingga dapat menyelesaikan pendidikan ditingkat Universitas dan menyelesaikan skripsi ini

Bapak-Ibu Dosen Universitas Lampung

Terimakasih atas bekal ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasan

Para sahabat dan teman-teman seperjuangan FISIKA FMIPA UNILA 2016
Terima kasih atas kebaikan kalian dan kebersamaan yang kita lalui

dan

Almamaterku Tercinta “Universitas Lampung”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmad dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan Acid Zinc Pada Sistem Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn**”. Tujuan penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar S1 jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung serta melatih berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi sesama.

Bandar Lampung, 27 Desember 2021

Nilla Anggi Pratiwi

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan *Acid Zinc* Pada Sistem Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat sehat dan nikmat-nikmat lainnya kepada penulis.
2. Kedua orang tuaku Bapak Narwono dan Ibu Ambar Rita yang telah membesarkan, mendidik, mendukung dan mendoakanku hingga saat ini.
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika yang telah memberi saran, motivasi, nasihat dan ilmunya.
4. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Pembimbing II yang telah memberi saran dan ilmunya dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi, saran dan ilmunya selama penulisan skripsi.
6. Bapak Agus Riyanto, S.Si., M.Sc. selaku Pembimbing Akademik.
7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA.
8. Bapak/Ibu dosen staf Jurusan Fisika FMIPA Unila.

9. Saudaraku Nadila Arum Sari yang menyemangati menyelesaikan Skripsi.
10. Ramadhan Bagus Priyono yang senantiasa memberi semangat dan dukungan.
11. Juwan, Gerhat, San, Syaiful, Ridwan, Erni, Rianita, Day, sebagai tim penelitian, teman diskusi dan saling menyemangati.
12. Sahabat-sahabat: Nurul Khotimah, Wulan Ayu Damayanti dan Ade Indriani yang senantiasa memberi motivasi dan semangat.
13. Teman-teman seperjuangan Fisika 2016 atas dukungan dan semangat yang diberikan.
14. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT selalu membalas dengan hal yang lebih baik.

Bandar Lampung, 27 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	10
2.3 Elektrokimia	11
2.4 Sel Volta	12
2.5 Sel Elektrolisis	13
2.6 Elektrolit	14

2.7	Elektrode	15
2.8	Potensial Elektrode	16
2.9	Karakteristik Elektrode Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Perak (Ag)	17
2.10	Korosi	19
2.11	Elektroplating	22
2.12	Jembatan Garam	23
2.13	Derajat Keasaman (pH)	24

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	25
3.3	Prosedur Penelitian	27
3.3.1	Perancangan dan Pembuatan Sistem	28
3.3.2	Proses Elektroplating Ag pada Cu	29
3.3.3	Pembuatan Jembatan Garam	30
3.3.4	Pembuatan Larutan <i>Acid Zinc</i>	30
3.3.5	Pengujian Sistem dan Pengambilan Data	31

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Realisasi Sistem Sel Volta	33
4.2	Hasil Penelitian	34
4.2.1	Data Pengamatan dan Perhitungan Karakteristik Elektrik	34
4.2.2	Laju Korosi Elektrode	44

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Pengambilan data karakteristik elektrik air laut	7
Gambar 2.2. Desain alat	7
Gambar 2.3. Desain sistem sel volta air laut	9
Gambar 2.4. Desain satu sel volta dan jembatan garam.....	10
Gambar 2.5. Sel volta	12
Gambar 2.6. Sel elektrolisis	14
Gambar 2.7. Proses korosi	20
Gambar 2.8. Rangkaian standar sistem elektropating	22
Gambar 2.9. Rangkaian sel volta dengan jembatan garam	23
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	27
Gambar 3.2. Desain 5 sel volta	28
Gambar 3.3. Desain sel volta	29
Gambar 3.4. Elektroplating Ag pada Cu	29
Gambar 3.5. Jembatan garam	30
Gambar 3.6. Hubungan antara karakteristik elektrik air laut terhadap waktu	32
Gambar 4.1. Realisasi sistem sel volta	33
Gambar 4.2 (a). Hubungan antara nilai V_{b1} terhadap waktu	35
(b). Hubungan antara nilai V_b terhadap waktu	35
Gambar 4.3. Hubungan antara nilai I terhadap waktu	38

Gambar 4.4. Contoh intensitas cahaya yang dihasilkan	40
Gambar 4.5. Hubungan antara nilai intensitas cahaya terhadap waktu	40
Gambar 4.6. Hubungan antara nilai R_{in} terhadap waktu	42
Gambar 4.7. Hubungan antara nilai P terhadap waktu	43
Gambar 4.8. Anoda Zn setelah 3 hari digunakan pada variasi pH 4	45
Gambar 4.9. Anoda Zn setelah 3 hari digunakan pada variasi pH 5	45
Gambar 4.10. Anoda Zn setelah 3 hari digunakan pada variasi pH 6	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Nilai potensial elektrode.....	17
Tabel 2.2. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni	18
Tabel 3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian	25
Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian	26
Tabel 3.3. Data pengamatan karakteristik elektrik air laut	32
Tabel 3.4. Hasil perhitungan karakteristik elektrik air laut	32
Tabel 3.5. Hasil perhitungan laju korosi elektrode	32
Tabel 4.1. Laju korosi anoda Zn pada variasi pH 4 selama 3 hari	46
Tabel 4.2. Laju korosi anoda Zn pada variasi pH 5 selama 3 hari	46
Tabel 4.3. Laju korosi anoda Zn pada variasi pH 6 selama 3 hari	46

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi memiliki peranan penting bagi kehidupan manusia, salah satu energi yang sering digunakan adalah energi listrik (Kristin, 2017). Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat dan menjadi penunjang di segala aspek kehidupan. Energi listrik menjadi salah satu energi yang krusial dan kebutuhannya meningkat beriringan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya teknologi (Wahid dkk., 2014). Pemenuhan kebutuhan energi di Indonesia saat ini masih mengandalkan energi dari bahan bakar fosil dan sedikit sekali penggunaan dari energi terbarukan. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2018, di Indonesia sebagian besar sumber energi listrik disuplai oleh batu bara 60,48%; gas 21,50%; BBM 5,63%; panas bumi 5,30%; air 6,37% dan hanya 0,72% berasal dari energi alternatif lainnya.

Tingginya kebutuhan energi listrik di Indonesia dan menipisnya bahan bakar fosil menuntut untuk mencari sumber energi alternatif lain, pemanfaatan energi alternatif dari air laut menjadi salah satu pilihan. Ditinjau dari geografis Indonesia, pengembangan energi dengan memanfaatkan air laut sebagai penghasil listrik sangat berpotensi karena sumber air laut yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan baik (Kadir, 1995). Air laut dapat dijadikan sebagai bahan baku sel bahan

bakar dan baterai, sehingga air laut telah dimanfaatkan dalam berbagai penelitian (Kholiq, 2015). Kandungan air laut terdiri dari 96,5% air murni dan 3,5% berupa zat terlarut. Air laut mengandung senyawa NaCl yang tinggi dan merupakan suatu garam yang dapat terionisasi secara sempurna menjadi ion Na^+ dan Cl^- , dengan adanya ion bebas yang terdapat dalam air laut maka timbul arus listrik (Kuwahara, 2001). Timbulnya arus listrik ini dapat digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan dengan metode sel volta.

Penggunaan air laut sebagai sumber energi listrik menggunakan metode sel volta telah banyak diteliti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pauzi dkk., (2016) mengenai analisis uji karakteristik elektrik air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan menggunakan elektrode C-Zn, Cu-Zn dan Cu-Al serta penelitian Yulianti dkk., (2017) mengenai kelistrikan sel volta memanfaatkan logam bekas menggunakan elektrode Cu-Al, Cu-Fe, Cu-Zn, Al-Zn dan Fe-Zn, keduanya menunjukkan bahwa pasangan elektrode Cu-Zn menghasilkan energi listrik yang lebih besar dibandingkan dengan elektrode lainnya. Namun, pasangan elektrode Cu-Zn memiliki masalah korosi apabila digunakan dalam jangka waktu yang lama sehingga menyebabkan energi listrik yang dihasilkan menurun. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Pauzi dkk., (2017) yang menunjukkan nilai karakteristik elektrik yang dihasilkan elektrode Cu-Zn selama 72 jam semakin lama semakin menurun dan terjadi korosi pada elektrode yang digunakan. Menurut Pauzi dkk., (2018) korosi terjadi pada permukaan Zn yang ditandai dengan lapisan hitam pada permukaan Zn dan menurut Winston, (2018) elektrode yang berfungsi sebagai anoda merupakan elektrode yang mempunyai potensial elektrode yang lebih negatif sehingga elektrode anoda cenderung bersifat korosif.

Korosi merupakan proses degradasi atau perusakan material yang disebabkan oleh reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat lain di lingkungan sekelilingnya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki (Einar, 2003). Sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari korosi. Timbulnya korosi dapat menyebabkan turunnya kualitas dan kekuatan suatu bahan (Vlack, 1999) serta korosi dapat mempengaruhi turunnya keluaran daya listrik pada sel volta.

Kualitas sel volta dapat dikembalikan dengan mereduksi kembali elektrode anoda menggunakan atom yang sama dengan proses elektrolisis pada sel volta. Pada penelitian ini menggunakan sistem sel volta dengan dua kompartemen yang dibatasi dengan jembatan garam campuran Al_2O_3 (aluminium oksida), NaCl (air laut) dan semen putih. Penggunaan jembatan garam ini berfungsi untuk menyeimbangkan elektrolit dengan memberi ion positif atau negatif (Badea dkk., 2007). Setiap sel terdapat sepasang elektrode Cu(Ag)-Zn yang pada kompartemen Cu(Ag) (katoda) berisi air laut sedangkan pada kompartemen Zn (anoda) berisi larutan *acid zinc* dengan variasi pH. Larutan *acid zinc* biasanya digunakan sebagai elektrolit pada proses *zinc electroplating*, dimana larutan ini berfungsi melapisi sebuah logam untuk menghambat laju korosi serta memperbaiki kualitas permukaan benda kerja (Ansari dkk., 2017). Penggunaan larutan *acid zinc* pada penelitian ini diharapkan akan dapat mengembalikan kualitas elektrode anoda yang teroksidasi. Sehingga untuk mengetahui hal tersebut dilakukan analisis pengaruh larutan *acid zinc* (variasi pH) terhadap karakteristik elektrik dan laju korosi pada sistem sel volta dua kompartemen dengan elektrode Cu(Ag)-Zn.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini merumuskan beberapa masalah yang akan dianalisis, yaitu:

1. Bagaimana mendesain dan membuat media elektrolit air laut dengan menggunakan elektrode Cu(Ag)-Zn dengan penambahan jembatan garam?
2. Bagaimana pengaruh larutan *acid zinc* (variasi pH) pada sistem sel volta dua kompartemen terhadap nilai karakteristik elektrik dan laju korosi yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Menghasilkan sebuah desain media elektrolit air laut dengan menggunakan elektrode Cu(Ag)-Zn dengan penambahan jembatan garam.
2. Memperoleh data atau informasi mengenai pengaruh larutan *acid zinc* (variasi pH) pada sel volta dua kompartemen terhadap nilai karakteristik elektrik dan laju korosi yang dihasilkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Desain alat yang digunakan terbuat dari bahan akrilik sebagai kerangka utama dan terdiri dari 5 sel yang terbuat dari bahan akrilik;
2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan jembatan garam campuran Al_2O_3 (aluminium oksida) 1 mol dan NaCl (air laut) 1 mol yang terlarut dalam semen putih Tiga Roda;
3. Variasi pH larutan *acid zinc* yang digunakan adalah pH 4, 5 dan 6.

4. Data yang diambil antara lain massa elektrode Zn sebelum dan sesudah digunakan, tegangan (V), kuat arus (I) dan intensitas cahaya (*lux*) dengan pengambilan data setiap 1 jam sekali selama 72 jam dengan perlakuan pergantian elektrolit.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini sebagai berikut.

1. Memperlama umur pakai sel volta.
2. Menghasilkan energi alternatif berbasis air laut dengan tingkat laju korosi elektrode yang rendah
3. Mengurangi terjadinya korosi pada elektrode Cu(Ag)-Zn.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tentang penggunaan air laut sebagai sumber energi terbarukan telah dilakukan salah satunya oleh Fariya dan Sri (2015). Pada penelitian ini memanfaatkan air laut sebagai cadangan sumber energi listrik terbarukan sebagai penerangan pada sampan (*Seacell*). Metode yang digunakan adalah metode sel volta dengan air laut sebagai elektrolit dan logam timbal (Pb) sebagai elektrodanya. Desain alat *seacell* pada penelitian ini dibuat dengan sistem terbuka agar ion dari air laut terus mengalir selama *seacell* beroperasi. Berdasarkan penelitian ini sepasang elektrode mampu menghasilkan tegangan sebesar 0,7-0,8 volt dan arus sebesar 0,6 mA.

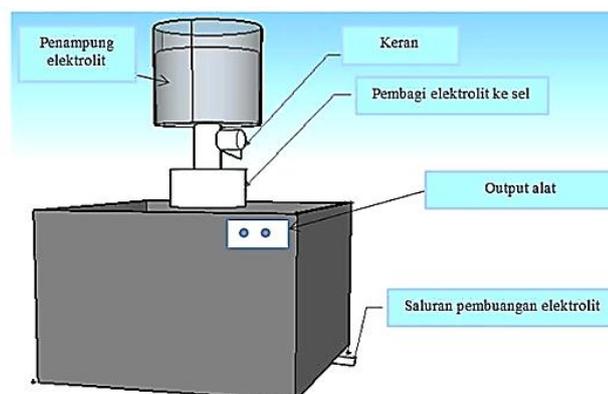
Penelitian Pauzi dkk., (2016) dilakukan untuk menganalisis karakteristik air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan dengan menggunakan metode sel volta dan air laut sebagai elektrolitnya. Pada penelitian ini menggunakan 3 pasangan elektrode, yaitu Cu-Zn, Cu-Al, C-Zn. Air laut yang digunakan memiliki salinitas sebesar 3,5% dengan variasi volume 20 ml, 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml dan 1200 ml untuk setiap sel. Penelitian ini dilakukan dengan 20 sel yang tersusun secara seri, seperti disajikan pada **Gambar 2.1**



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

Penelitian ini menghasilkan nilai keluaran arus dan tegangan yang semakin besar seiring dengan bertambahnya volume air laut yang digunakan saat diberi beban. Pasangan elektrode Cu-Zn menghasilkan nilai tegangan paling besar yakni 17,46 V dengan volume air laut sebesar 100ml pada saat pengukuran tanpa menggunakan beban, sedangkan untuk pengukuran dengan beban pasangan Cu-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik paling besar yaitu tegangan 4,34 V, arus 0,620 mA dan daya 2,693 mW dengan volume 200 ml.

Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Aristian (2016), pada penelitian ini menggunakan pasangan elektrode Cu-Zn dengan jumlah sel yang digunakan adalah 40 sel yang dipasang secara seri. Waktu pengambilan data setiap 1 jam sekali selama 72 jam dan dilakukan pengisian dan pengosongan air laut secara manual setiap 24 jam sekali, seperti disajikan pada **Gambar 2.2.**



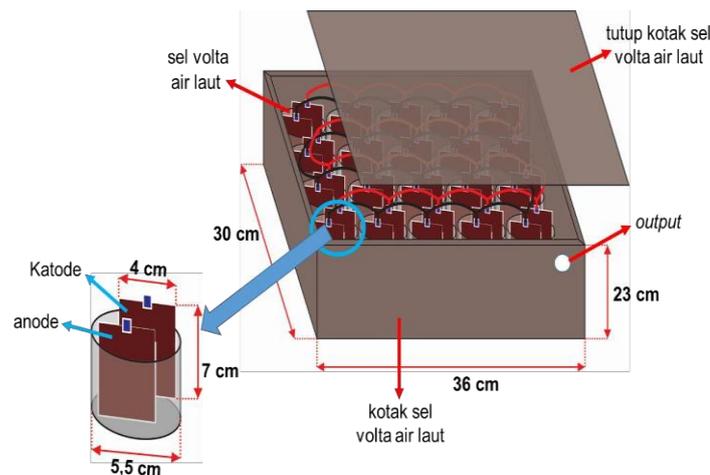
Gambar 2.2. Desain alat (Aristian, 2016).

Penelitian ini menggunakan beban LED 1,2 Watt, pengujian 24 jam pertama menunjukkan persentase penurunan rata-rata tegangan saat beban di lepas (V_{tb}) sebesar 6,67% dan persentase penurunan rata-rata daya sebesar 14,24%. Pada pengujian 24 jam kedua menghasilkan persentase penurunan rata-rata tegangan beban lepas (V_{tb}) dan daya sebesar 5,28% dan 10,12%. Sementara, pada pengujian 24 jam ketiga persentase penurunan rata-rata tegangan beban lepas (V_{tb}) dan daya sebesar 4,79% dan 12,62%. Hasil pengujian alat menunjukkan salah satu penyebab penurunan nilai karakteristik elektrik yaitu terjadinya korosi pada elektrode yang digunakan.

Arwadhita (2017) melakukan penelitian tentang elektrode Cu-Zn yang diuji korosifitasnya. Penelitian ini menggunakan 40 sel yang dipasang seri dan menggunakan dua elektrolit yang berbeda yaitu air laut dan air laut yang ditambahkan NaHCO_3 . Pengambilan data air laut tanpa perlakuan dilakukan selama 78 jam, nilai karakteristik yang dihasilkan semakin lama semakin menurun dan dapat menghidupkan LED selama 3 hari. Pengambilan data pada air laut yang ditambahkan NaHCO_3 dilakukan selama 5 hari dan dapat menghidupkan LED selama 5 hari. Laju korosi elektrode pada air laut tanpa perlakuan semakin lama semakin besar, sedangkan dengan penambaha NaHCO_3 tidak terjadi korosi.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Pangestu (2017), pada penelitian menggunakan 20 sel yang dirangkai secara seri. Pengambilan data dilakukan pada air laut tanpa perlakuan dan air laut yang telah difilter dan tambah NaHCO_3 setiap 4 jam sekali selama 72 jam. Hasil penelitian laju korosi pada air laut tanpa perlakuan 9 kali lebih besar daripada laju korosi pada air laut setelah difilter dan ditambahkan NaHCO_3 .

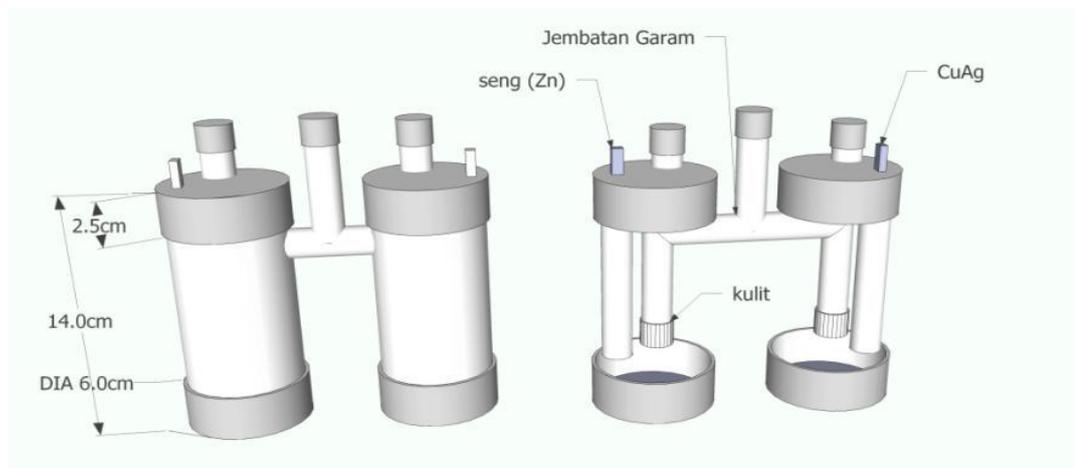
Rizki (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh elektroplating Ag pada Cu terhadap nilai karakteristik elektrik dengan menggunakan elektrode Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn. Pada penelitian ini jumlah sel yang digunakan 20 buah dalam sistem tertutup. Setiap sel diisi dengan elektrolit air laut yang telah difilter sebanyak 200ml. Elektrode antar sel dihubungkan secara seri, seperti disajikan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3. Desain sistem sel volta air laut (Rizki, 2019).

Pada sistem ini pengambilan data dilakukan setiap 1 jam sekali selama 72 jam dengan pergantian air laut setiap 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan pasangan elektrode Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan Cu-Zn. Elektroplating Ag pada Cu mampu menghasilkan katoda Cu(Ag) yang lebih tahan korosi dari air laut 5 kali lebih tinggi dibandingkan Cu. Hasil penelitian nilai tegangan tanpa beban (V_{bl}) pada 1 jam pertama Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn berturut-turut 17,93 dan 17,09 volt, sedangkan nilai V_{bl} pada jam ke-72 adalah 16,75 dan 15,11 volt. Nilai maksimum tegangan beban (V_b) pada pengisian 1 jam pertama pada satu jam pertama Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn berturut-turut adalah 8,18 dan 7,99 volt. Nilai tersebut menunjukkan pasangan Cu(Ag)-Zn lebih besar dibandingkan pasangan Cu-Zn.

Penelitian mengenai pengendalian korosi juga telah dilakukan oleh Anjarwati (2019) dengan pemanfaatan jembatan garam. Penelitian ini menganalisis pengaruh jembatan garam terhadap laju korosi elektrode Zn pada sel volta. Variasi jembatan garam yang digunakan NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol, NaCl 1 mol, dan KCl 1 mol. Pada penelitian ini sel elektrokimia terdiri dari 20 sel yang disusun secara seri, masing masing sel di isi air laut sebanyak 300 ml. Desain satu sel volta dengan jembatan garam disajikan pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. Desain satu sel volta dan jembatan garam (Anjarwati, 2019).

Sel volta dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 Volt selama 1 hari. Pada sistem ini dilakukan pengukuran massa elektrode dan karakteristik elektrik selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Cu(Ag)-Zn dengan bantuan jembatan garam NaCl 1 mol lebih tahan terhadap korosi dan menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan dengan jembatan garam NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol dan KCl 1 mol.

2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian yang akan dilakukan adalah analisis pengaruh larutan *acid zinc* menggunakan variasi pH pada sistem sel volta dua kompartemen yang dibatasi

jembatan garam dengan elektrode Cu(Ag)-Zn. Penelitian sebelumnya menggunakan elektrode Cu(Ag)-Zn dengan elektrolit air laut dan menambahkan jembatan garam dengan variasi Al_2O_3 1 mol + CaCO_3 1 mol, Al_2O_3 1 mol + CaCO_3 0,1 mol, Al_2O_3 0,1 mol + CaCO_3 1 mol dan Al_2O_3 0,1 mol + CaCO_3 0,1 mol (Pauzi dkk., 2021). Inovasi yang dilakukan adalah menambahkan jembatan garam campuran Al_2O_3 1 mol dan NaCl 1 mol yang terlarut dalam semen putih Tiga Roda. Pada penelitian ini setiap sel pada bagian katoda (Cu(Ag)) berisi air laut dan bagian anoda (Zn) berisi larutan *acid zinc* dengan variasi pH 4, 5 dan 6.

2.3 Elektrokimia

Elektrokimia adalah ilmu yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada media penghantar listrik. Elektrode terdiri dari elektrode positif dan elektrode negatif, hal ini dikarenakan elektrode dialiri oleh arus listrik sebagai sumber energi dalam pertukaran elektron. Konsep elektrokimia didasarkan oleh reaksi reduksi-oksidasi dan larutan elektrolit. Reaksi redoks adalah gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Pada reaksi reduksi terjadi penangkapan elektron sedangkan pada reaksi oksidasi terjadi pelepasan elektron yang terjadi di media penghantar pada sel elektrokimia.

Pada sel elektrokimia membutuhkan sebuah media penghantar sebagai tempat terjadinya serah terima elektron yang disebut larutan. Larutan dapat dikategorikan menjadi tiga yakni elektrolit kuat, lemah dan bukan elektrolit. Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang menghantarkan arus listrik dengan sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung dengan cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion

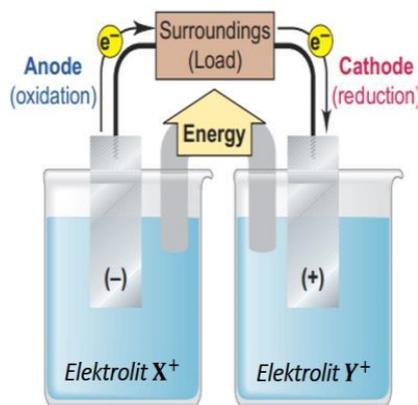
terlarut yang cenderung terionisasi sebagian sehingga proses serah terima elektron berlangsung lambat dan energi yang dihasilkan relatif kecil. Pada larutan bukan elektrolit proses serah terima elektron tidak terjadi (Harahap, 2016). Ada 2 prinsip sel elektrokimia:

1. Sel yang melakukan kerja dengan melepaskan energi dari reaksi spontan.
2. Sel yang melakukan kerja dengan menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan.

Sel elektrokimia baik yang melepas atau menyerap energi selalu melibatkan perpindahan elektron dari satu senyawa ke senyawa yang lain dalam suatu reaksi redoks (Mulyono, 2017).

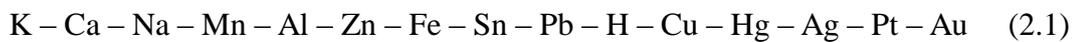
2.4 Sel Volta

Sel volta merupakan sel elektrokimia yang dapat menghantarkan energi listrik yang terjadi akibat reaksi redoks secara spontan. Pada sel volta elektrode kutub negatif disebut anoda, sedangkan elektrode kutub positif adalah katoda. Arus listrik yang dihasilkan pada sel volta dikarenakan adanya beda potensial antara kedua elektrode. Syarat utama sel volta yakni adanya elektrode (anoda dan katoda) dan larutan elektrolit (Bird, 1993).



Gambar 2.5. Sel volta (Sadono, 2017).

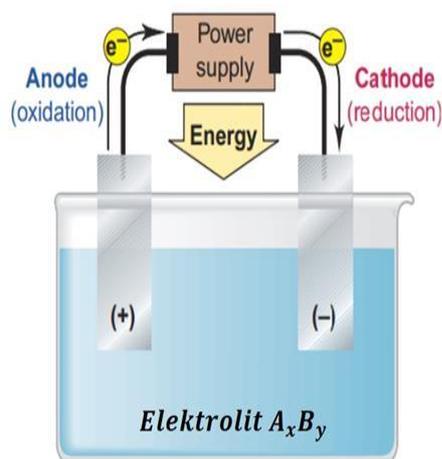
Pada sel volta anoda dan katoda akan dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang terhubung dengan jembatan garam. Jembatan garam berfungsi pemberi suasana netral dari kedua larutan elektrolit yang menghasilkan listrik. Pemilihan larutan elektrolit harus mengikuti kaedah deret volta karena listrik yang dihasilkan harus melewati reaksi kimia yang spontan (Harahap, 2016). Deret volta disusun berdasarkan daya reduksi dan oksidasi dari masing-masing logam. Urutan deret volta sebagai berikut.



Pada deret volta unsur logam dengan potensial negatif diletakkan dibagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial yang lebih positif diletakkan disebelah kanan. Semakin kekiri kedudukan suatu logam maka logam akan semakin reaktif (mudah melepas elektron) dan merupakan reduktor yang semakin kuat (mudah mengalami oksidasi). Semakin ke kanan maka suatu logam akan semakin kurang reaktif (sulit melepas elektron) dan logam merupakan oksidator yang semakin kuat (semakin mudah mengalami reduksi) (Mulyono, 2017).

2.5 Sel Elektrolisis

Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang menimbulkan reaksi redoks yang terjadi tidak spontan dan memerlukan energi dari luar. Sel elektrolisis memanfaatkan energi listrik dari luar untuk menjalankan reaksi tidak spontan. Rangkaian sel elektrolisis hampir sama dengan sel volta, yang membedakan pada sel elektrolisis komponen voltmeter diganti dengan sumber arus.



Gambar 2.6. Sel elektrolisis (Sadono, 2017).

Larutan yang akan dielektrolisis ditempatkan di suatu wadah yang selanjutnya elektrode dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang akan dielektrolisis. Elektrode yang biasa digunakan adalah elektrode inert seperti grafit (C), platina (Pt) dan emas (Au). Elektrode merupakan tempat berlangsungnya reaksi, reaksi oksidasi berlangsung di anoda sedangkan reaksi reduksi berlangsung di katoda. Kutub positif sumber arus mengarah ke anoda dan kutub negatif mengarah ke katoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik ion-ion positif (kation) yang tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik ion-ion negatif (anion) yang teroksidasi menjadi gas. Tujuan dari elektrolisis untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda (Maulana, 2018).

2.6 Elektrolit

Air merupakan pelarut (*solven*) yang baik untuk senyawa ion, larutan air mempunyai sifat yang khas salah satunya dapat menghantarkan arus listrik. Namun apabila elektrode dicelupkan kedalam air muni dan dihubungkan dengan sumber listrik dan bola lampu, maka bola lampu tidak akan menyala karena air adalah

konduktor yang buruk. Akan tetapi, jika suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan kedalam air tersebut maka bola lampu akan dapat menyala. Senyawa NaCl membuat larutan menjadi konduktor listrik yang disebut elektrolit. Istilah elektrolit ini pertama kali diberikan oleh Svante Arrhenius, seorang ahli kimia dari Swedia (Brady, 1999). Menurut Arrhenius larutan elektrolit di dalam air terdisosiasi ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif atau sering disebut ion (ion positif dan negatif). Jumlah ion positif akan sama dengan jumlah ion negatif, sehingga muatan ion-ion dalam larutan menjadi netral. Ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik.

Larutan elektrolit dikelompokkan menjadi elektrolit kuat, lemah dan non elektrolit. Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut dengan derajat ionisasi (α). Elektrolit kuat memiliki harga $\alpha=1$, karena semua zat yang dilarutkan terurai menjadi ion. Elektrolit lemah memiliki harga $\alpha<1$ karena hanya sebagian zat yang terurai menjadi ion sedangkan non elektrolit memiliki harga $\alpha=0$ karena tidak ada yang terurai menjadi ion (Chang, 2003).

2.7 Elektrode

Elektrode merupakan suatu konduktor yang dapat dilalui arus listrik dari satu media ke media lain. Elektrode biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga (Cu), perak (Ag), timah (Sn) atau seng (Zn), tetapi terdapat juga elektrode yang terbuat dari bahan konduktor listrik non-logam seperti grafit. Elektrode dapat digunakan dalam baterai, alat medik, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis (Chang, 2003). Umumnya elektrode dibedakan menjadi dua, yaitu:

2.7.1 Anoda

Pada sel volta anoda merupakan tempat terjadinya oksidasi dan bermuatan negatif karena terjadi reaksi secara spontan dan elektron akan dilepaskan oleh elektrode. Pada sel elektrolisis, sumber tegangan diperoleh dari luar sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Ion-ion bermuatan negatif mengalir ke elektrode untuk dioksidasi (Dogra, 1990).

2.7.2 Katoda

Katoda merupakan tempat terjadinya reduksi berbagai zat kimia. Pada sel volta katoda bermuatan positif jika dihubungkan dengan anoda. Ion-ion bermuatan positif mengalir ke elektrode untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda merupakan elektrode yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan positif mengalir ke elektrode untuk direduksi, pada sel elektrolisis elektron bergerak dari anoda ke katoda (Bird, 1993).

2.8 Potensial Elektrode

Arus listrik yang terjadi pada sel volta disebabkan oleh elektron yang mengalir dari elektrode negatif ke elektrode positif. Hal ini dikarenakan perbedaan potensial antara kedua elektrode, contohnya saat mengukur perbedaan potensial (ΔV) antara dua elektrode dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik dihasilkan mengalir sampai habis, maka akan didapatkan perbedaan potensial sehingga perbedaan ini disebut dengan potensial sel (E°_{sel}). Perbedaan potensial yang diperoleh bervariasi tergantung dengan jenis elektrode, konsentrasi dan temperatur larutan elektrolit yang digunakan (Anderson dkk., 2010). Daftar nilai potensial elektrode untuk logam-logam yang penting disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Nilai potensial elektrode (Vlack, 1992).

Reaksi Reduksi	Logam	E° (volt)
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^-$	Au	+1,50
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$	$2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e}^-$	Pt	+1,20
$\text{Ag}^+ + \text{e}^-$	Ag	+0,80
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	Fe^{2+}	+0,77
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$	$4(\text{OH})^-$	+0,40
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$	Cu	+0,34
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$	H_2	0,00
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^-$	Pb	-0,13
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Sn	-0,14
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^-$	Ni	-0,25
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	Fe	-0,44
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$	Cr	-0,71
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	Zn	-0,76
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$	Al	-1,66
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	Mg	-2,37
$\text{Na}^+ + \text{e}^-$	Na	-2,71
$\text{K}^+ + \text{e}^-$	K	-2,92
$\text{Li}^+ + \text{e}^-$	Li	-2,96

2.9 Karakteristik Elektrode Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Perak (Ag)

2.9.1 Karakteristik tembaga (Cu)

Tembaga merupakan suatu unsur kimia dalam tabel periodik dengan lambang Cu, berasal dari bahasa latin *cuprum*. Tembaga (Cu) memiliki nomor atom 29, nomor massa 63,54 dan merupakan unsur logam dengan warna kemerahan. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan yang berwarna jingga kemerahan. Tembaga memiliki konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik, dan mempunyai ketahanan korosi yang baik. Tembaga ini termasuk dalam logam berat *non-ferro* yakni logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan c sebagai unsur dasar. Produksi tembaga sebagian besar digunakan untuk kawat atau bahan yang dapat menukar panas dalam

memanfaatkan hantaran listrik. Biasanya tembaga ini digunakan dalam bentuk paduan, karena tembaga dengan mudah membentuk paduan dengan logam-logam lain diantaranya logam Pb dan Sn (Milanino dkk., 1989). Struktur kristal tembaga murni yakni *face centered cubic* dan memiliki titik leleh 1084,62°C. Pada **Tabel 2.3** diperlihatkan sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni.

Tabel 2.3. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni (Hammond, 2004).

Sifat Fisis	Satuan
Densitas	8920 kg/m ³
Sifat Mekanik	
Kuat tarik	200 N/mm ²
Modulus elastisitas	130 Gpa
Brinnel hardness	874 MN m ⁻²
Sifat Panas	
Koefisien ekspansi thermal	16,5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Konduktivitas thermal	400W/mK

Tembaga merupakan logam berwarna kekuningan hampir seperti emas kuning dan memiliki sifat yang keras bila tembaga ini tidak murni, tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yakni sebesar 59,6x10⁻⁶ S/m, oleh karena itu tembaga memiliki konduktivitas panas yang tinggi kedua diantara logam-logam murni pada suhu kamar (Hammond, 2004).

2.9.2 Karakteristik seng (Zn)

Seng dengan nama kimia *Zinc* dan dilambangkan dengan Zn merupakan salah satu unsur logam berat, Zn memiliki nomor atom 30 dan memiliki massa atom 65,39. Seng ini cukup mudah untuk ditempa dan liat pada suhu 110-150 °C. Seng (Zn) memiliki titik lebur pada 410 °C dan titik didih pada suhu 906 °C. Seng bila dipanaskan dengan suhu tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia seng mirip dengan magnesium, karena ion kedua unsur ini memiliki ukuran yang hampir sama dan selain itu keduanya memiliki bilangan oksidasi +2.

Pelapisan seng pada baja untuk mencegah korosi merupakan aplikasi utama seng aplikasi lainnya yakni penggunaannya pada baterai. Seng merupakan logam yang memiliki karakteristik yang cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng di alam tidak dalam keadaan yang bebas, tetapi dalam bentuk terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung seng di alam diantaranya kalaminit, franklinit, smitkosit, willenit dan zinkit (Sugiyarto dan Retno, 2010).

2.9.3 Karakteristik perak (Ag)

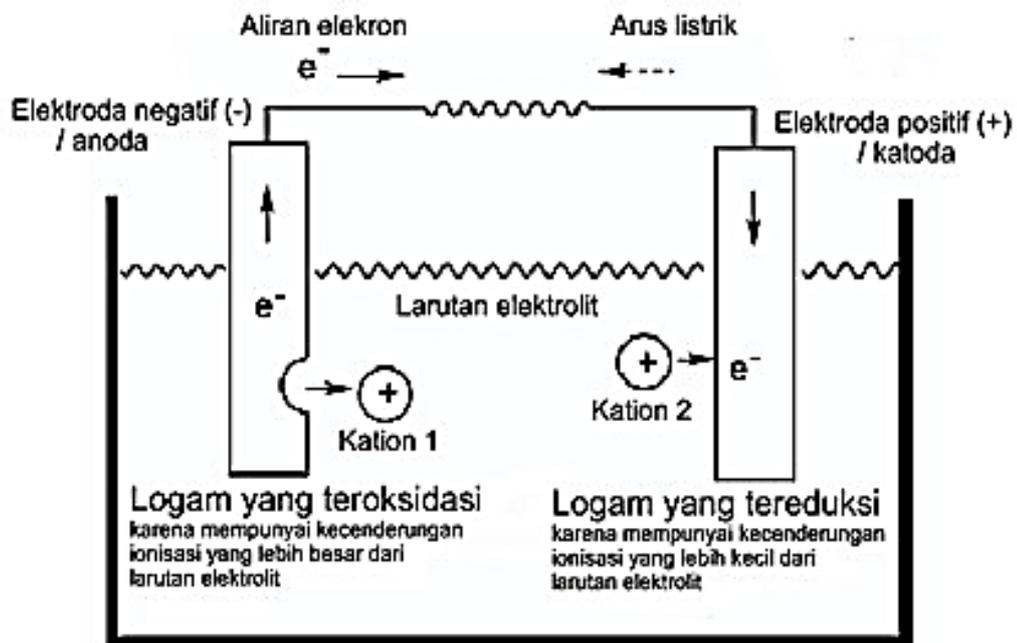
Perak merupakan unsur logam dengan nomor atom 47 dan memiliki lambang Ag. Ag murni termasuk kedalam logam transisi yang lunak, berwarna putih dan berkilau. Ag memiliki konduktivitas listrik, panas dan reflektivitas tertinggi diantara semua logam, serta nilai resistansinya yang sangat kecil. Nilai konduktivitas listrik dan panas dari logam Ag mencapai $6,3 \times 10^7$ S/m dan 429 W/mK. Ag memiliki nilai densitas sebesar $10,49 \text{ gr/cm}^3$. Ag murni bersifat stabil di udara dan murni di air, tetapi Ag ini dapat ternoda ketika mengenai ozon, hidrogen sulfida, atau udara yang mengandung sulfur. Ag banyak digunakan untuk perhiasan, koin, alat fotografi dan lainnya. Reaksi Ag dengan unsur lain banyak dimanfaatkan, seperti Ag ioda digunakan dalam penyemaian awan untuk menghasilkan hujan (Hammond, 2004).

2.10 Korosi

Korosi berasal dari bahas latin "*corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat. Korosi merupakan proses degradasi atau deteorisasi atau perusakan material yang disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Beberapa pakar

berpendapat bahwa korosi hanya terjadi pada logam saja, tetapi ada juga yang mengartikan istilah korosi untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang solid oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*) (Amanto dan Daryanto, 1999).

Pada proses korosi ada dua reaksi yang menyebabkan korosi yakni reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Pada reaksi oksidasi akan terjadi pelepasan elektron oleh material yang bersifat anodik. Sedangkan reaksi reduksi merupakan pemakaian elektron oleh material yang lebih bersifat katodik. Proses korosi secara galvanis dapat dilihat pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Proses korosi (Mulyono, 2017).

Pada reaksi diatas dimana Cu bertindak sebagai katoda mengalami penambahan massa dengan melekatnya elektron pada Cu. Sedangkan Zn bertindak sebagai anoda, dimana Zn mengalami pelepasan elektron yang ditandai dengan pengurangan massa Zn. Peristiwa penerimaan dan pelepasan elektron ini harus mempunyai lingkungan,

dimana yang menjadi lingkungan adalah asam sulfat. Jika ada dua buah unsur yang dicelupkan dalam larutan elektrolit yang dihubungkan dengan sumber arus maka yang akan mengalami korosi adalah material yang bersifat lebih anodik (Mulyono, 2017).

Korosi yang terjadi dilingkungan air laut didorong oleh beberapa faktor yakni kadar gas dalam air laut, hujan, embun, kondensasi dan tingkat kelembaban serta resistivitas. Secara alami lingkungan air laut mengandung ion klorida dengan kombinasi tingginya penguapan. Korosi yang disebabkan oleh air laut tergantung dengan kadar klorida, pH, kadar oksigen dan temperatur. Korosi akibat media air laut juga dipengaruhi oleh tingkat penggaraman atau salinitas air laut. Salinitas merupakan berat keseluruhan dalam gram kadar garam non organik dalam 1 kg air laut. salinitas air laut dinyatakan dengan satuan per seribu (‰).

Laju korosi suatu logam dapat dihitung dengan menggunakan metode kehilangan massa dengan rumus (Jones, 1992):

$$r = \frac{Km}{\rho AT} \quad (2.2)$$

dengan:

r = Laju korosi (mm/hari);

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

M = $m_0 - m_1$ = massa awal-massa akhir (gr);

ρ = Densitas (gr/cm^3)

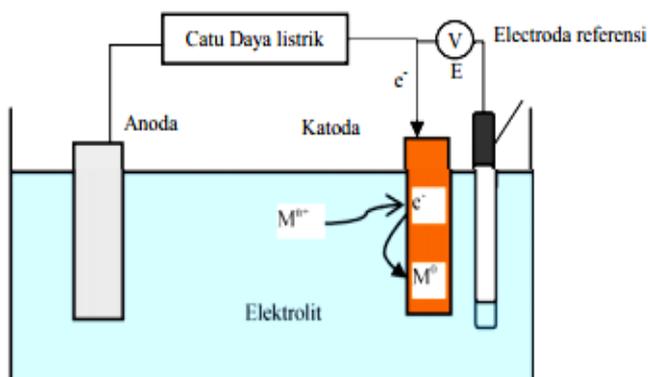
A = Luas permukaan (cm^2);

T = Waktu (jam).

2.11 Elektroplating

Elektroplating merupakan salah satu aplikasi dari sel elektrolisis. Proses elektroplating juga dikenal dengan penyepuhan atau proses terjadinya reaksi reduksi ion logam terlarut di dalam elektrolit pada permukaan elektrode (katoda), sehingga logam mengendap di permukaan. Sistem elektroplating terdiri dari catu daya, larutan elektrolit, katoda, anoda, dan jika diperlukan ada tambahan elektrode referensi. Supaya reaksi berjalan, elektrode dihubungkan dengan catu daya kemudian dimasukkan ke dalam elektrolit di dalam sel elektrokimia, seperti

Gambar 2.8. Elektrode referensi digunakan untuk mengukur potensial elektrode (Paunovic dan Schlesinge, 1998).

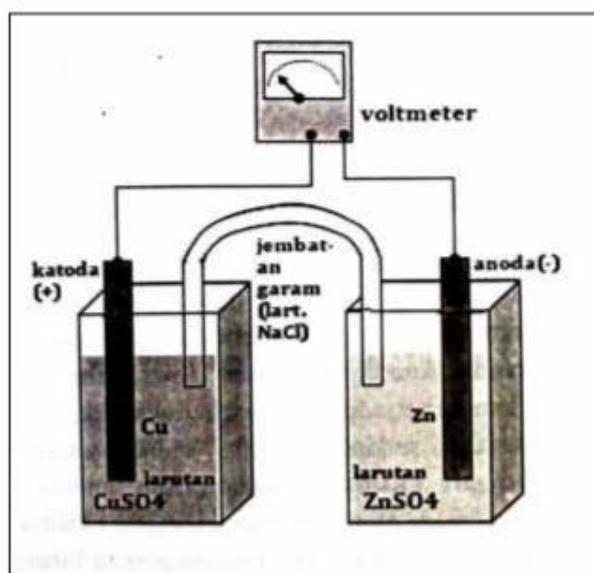


Gambar 2.8. Rangkaian standar sistem elektroplating (Widayatno dan Roy, 2011).

Reaksi reduksi pada permukaan katoda dapat berlangsung karena disebabkan pergeseran potensial elektrode dari kondisi setimbangnya yang disebabkan dorongan potensial listrik dari catu daya. Perbedaan potensial ini disebut *overpotential* (η). Pada saat elektrode dihubungkan ke catu daya, arus listrik akan mengalir dari katoda ke anoda (Paunovic dan Schlesinge, 1998). Elektroplating sangat dipengaruhi oleh geometri sel elektrokimia, pH dan konduktivitas larutan elektrolit, konduktivitas elektrode, kinetika reaksi elektrokimia di permukaan elektrode dan transfer massa ion yang bereaksi (Widayanto, 2016).

2.12 Jembatan Garam

Jembatan garam biasanya berupa tabung berbentuk U yang diisi dengan agar-agar yang dicampur dengan larutan garam. Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Konsentrasi larutan elektrolit pada jembatan garam lebih tinggi dibandingkan konsentrasi elektrolit dibagian kedua elektrode, sehingga ion negatif dan ion positif dari jembatan garam berdifusi kebagian lain yang lebih bermuatan negatif (Hamann dkk., 1998). Berikut ini contoh skema penggunaan jembatan garam dapat dilihat seperti **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9. Rangkaian sel volta dengan jembatan garam (Rahmawati, 2013).

Jembatan garam dalam suatu sel elektrokimia 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 elektrik. Apabila kedua sel berada dalam satu wadah, maka ion-ion dalam elektrolit akan bercampur dan lebih mudah bereaksi secara langsung daripada melewati elektron-elektron ke sirkuit eksternal. Mekanisme kerja jembatan garam yakni elektron-elektron mengalir melalui kawat dari anoda melalui sirkuit eksternal menuju katoda, maka

akan menyebabkan defisiensi muatan negatif pada sel anoda. Pada saat itu ion-ion (Cl^-) dari jembatan garam akan keluar menuju sel anoda. Sedangkan pada daerah sel katoda, terjadi defisiensi muatan positif, sehingga kation-kation (Na^+) akan keluar dari jembatan garam menuju katoda. Arus listrik yang dihasilkan oleh jembatan garam merupakan penjumlahan aliran kation dan anion (Rahmawati, 2013).

2.13 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman atau pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, zat atau benda. Istilah pH diturunkan dari konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan. (H^+) adalah konsentrasi ion hidrogen, pH normal memiliki nilai 7, bila nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan zat tersebut bersifat asam sedangkan $\text{pH} > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa. pH 0 menunjukkan derajat keasaman tertinggi dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Joko, 2010).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Dasar dan Laboratorium Fisika Inti Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Januari 2021 sampai dengan bulan Juni 2021.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 3.1. Alat yang digunakan dalam penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi
1	Gunting	Memotong elektrode
2	Mesin gerinda	Memotong pipa paralon dalam pembuatan sel
3	Multimeter	Mengukur tegangan dan arus
4	Timbangan digital	Menimbang massa elektrode sebelum dan sesudah digunakan
5	<i>Lux</i> meter	Mengukur intensitas cahaya lampu
6	<i>Stopwatch</i>	Mencatat waktu elektroplating, pengisian dan pengosongan air laut, serta pengambilan data
7	Saklar	Memutus atau menghubungkan arus listrik
8	Gelas baker	Mengukur volume air laut
9	<i>Power supply</i>	Sumber tegangan saat elektroplating

10	Timbangan digital	Menimbang massa elektrode
11	Tempat filter air	Tempat proses filtering
12	Galon	Tempat penampungan air laut sementara
13	Kabel penghubung	Media penghubung elektroda
14	Kamera	Mengambil gambar atau video penelitian
15	Kertas, pulpen, dan spidol	Mencatat dan pengamatan dan keperluan lainnya

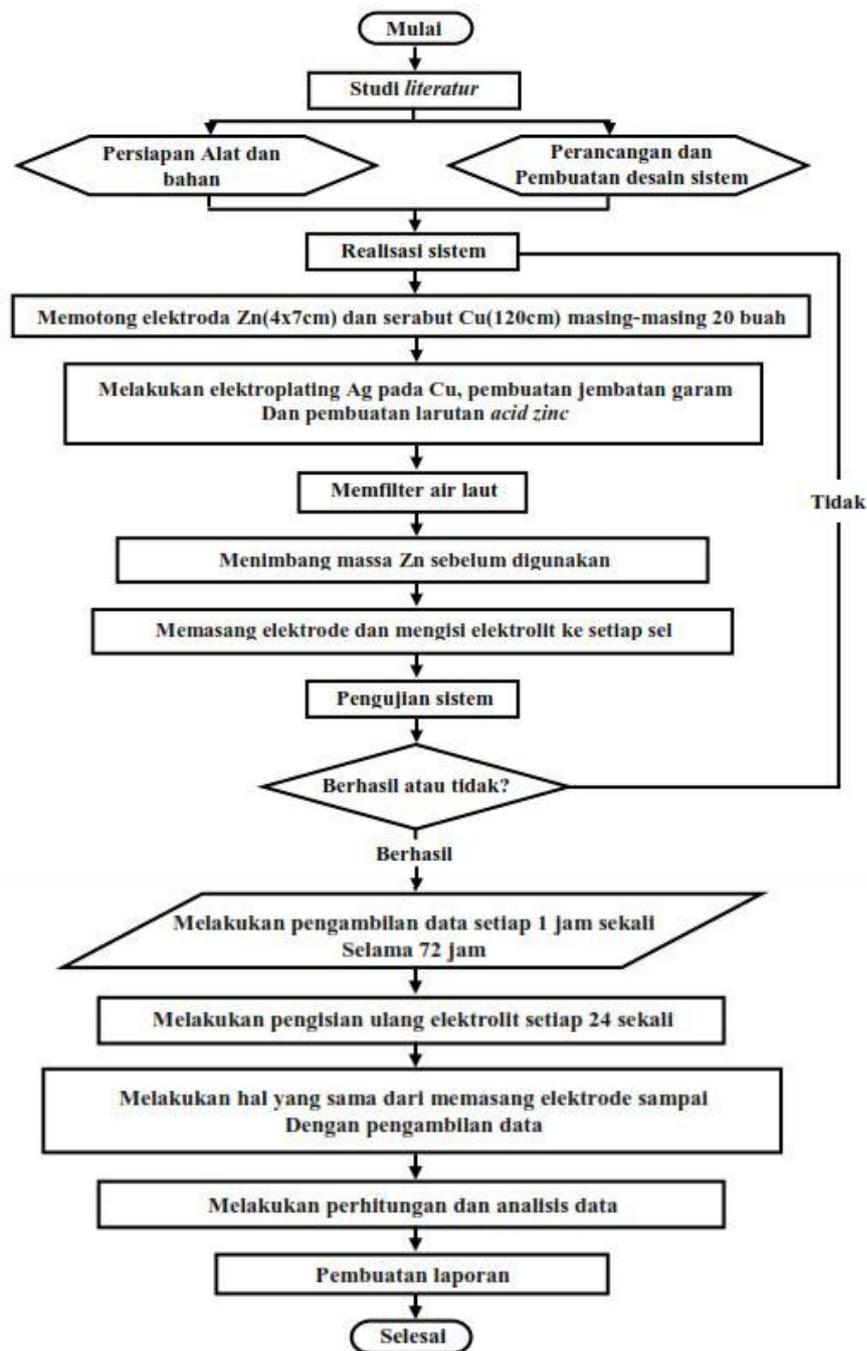
dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 3.2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Air laut	Sebagai elektrolit
2	Akrilik	Sebagai penampung setiap sel dan kerangka alat utama
3	Serabut Cu (120 cm)	Sebagai katoda
4	Lempengan Zn (4x7x0,002 cm)	Sebagai anoda
5	Larutan AgNO ₃	Sebagai larutan elektrolit pada proses elektroplating Cu(Ag)
6	Larutan HNO ₃ 1%	Untuk membersihkan logam Cu sebelum elektroplating
7	Etanol 96%	Untuk membersihkan logam Cu setelah dibersihkan dengan larutan HNO ₃
8	Karbon	Sebagai anoda dalam elektroplating Cu(Ag)
9	Al ₂ O ₃ , NaCl dan semen	Untuk membuat larutan jembatan garam
10	NH ₄ Cl dan ZnCl ₂	Untuk membuat larutan <i>acid zinc</i>
11	Aquades	Untuk mengencerkan larutan sepuh
12	20 LED	Sebagai beban atau untuk menguji keluaran yang dihasilkan
12	Kabel penghubung	Sebagai penghubung antar elektrode

3.3 Proses Penelitian

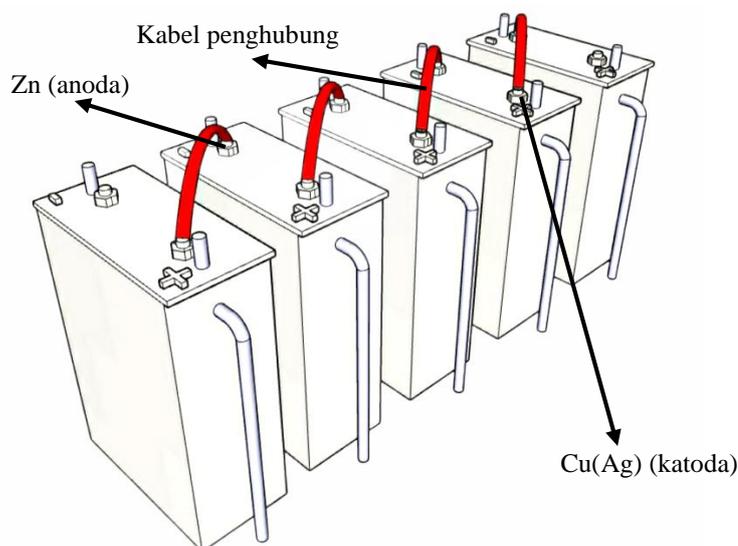
Penelitian ini terbagi menjadi 5 tahap, yaitu tahap perancangan dan pembuatan sistem, proses elektroplating, pembuatan jembatan garam dan larutan *acid zinc* serta pengujian alat dan pengambilan data. Secara umum prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



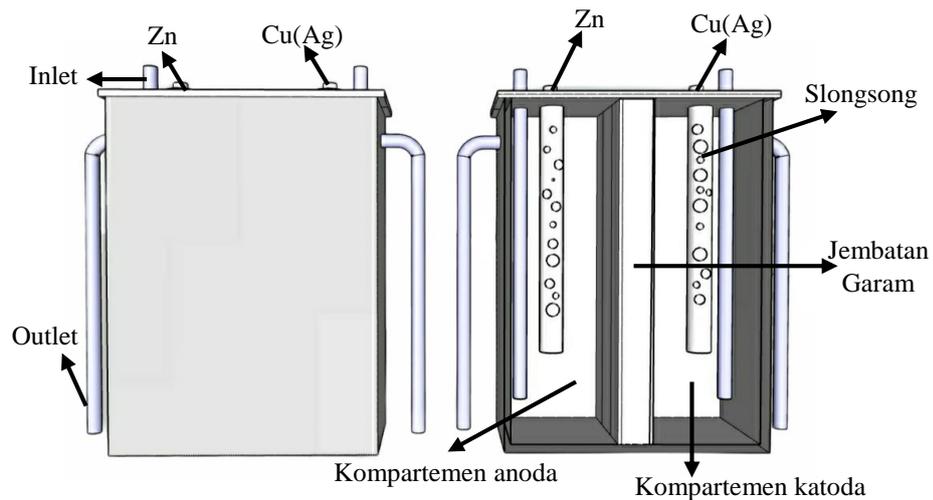
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Pada tahap pertama dilakukan perancangan dan pembuatan sistem sel volta yang tersusun dari 5 sel yang terbuat dari bahan *acrylic* yang tebalnya 3mm. Setiap sel berisi sepasang elektrode Cu(Ag)-Zn dengan beda kompartemen yang dibatasi oleh sebuah jembatan garam. Jembatan garam yang digunakan merupakan campuran Al_2O_3 (aluminium oksida) 1 mol dan NaCl 1 mol yang terlarut dalam semen putih Tiga Roda. Dimensi elektrode yang digunakan pada setiap sel yakni serabut Cu sepanjang 120 cm sedangkan Zn memiliki dimensi 4x7x0,002 cm. Elektrolit yang digunakan pada sistem sel volta ini adalah air laut dan larutan *acid zinc*, air laut yang didapat difilter menggunakan filter air untuk menyaring kotoran atau organisme yang ada dalam air laut. Elektrolit yang digunakan pada kompartemen katoda (Cu(Ag)) berisi ± 250 ml air laut sedangkan pada kompartemen anoda (Zn) berisi ± 200 ml larutan *acid zinc*. Elektrolit diganti setiap 24 jam sekali, hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh pergantian elektrolit pada sistem sel volta. Desain sel volta pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3**.



Gambar 3.2. Desain 5 sel volta

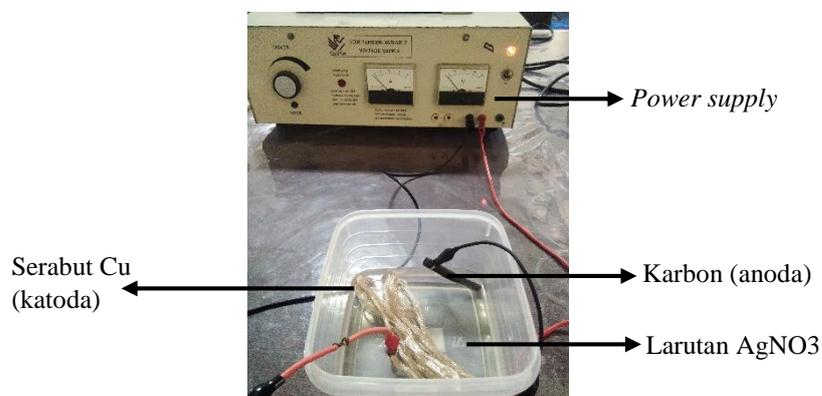


Gambar 3.2. Desain sel volta.

3.3.2 Proses Elektroplating Ag pada Cu

Pada tahap kedua ini dilakukan proses elektroplating Ag pada Cu dengan menggunakan larutan sepuh perak (AgNO_3) 0,02M sebanyak 300 ml sebagai larutan elektrolitnya. Serabut Cu sebagai katoda dan batang karbon sebagai anoda. Sebelum elektroplating serabut Cu di bersihkan dengan larutan HNO_3 1% untuk mengurangi kandungan lemak yang menempel pada Cu. Kemudian Cu dibersihkan kembali menggunakan etanol 96% untuk menghilangkan kandungan HNO_3 yang masih menempel pada Cu. Selanjutnya, elektroplating dilakukan dengan tegangan 2 volt selama 5 menit. Elektroplating Ag pada Cu dapat ditunjukkan pada **Gambar**

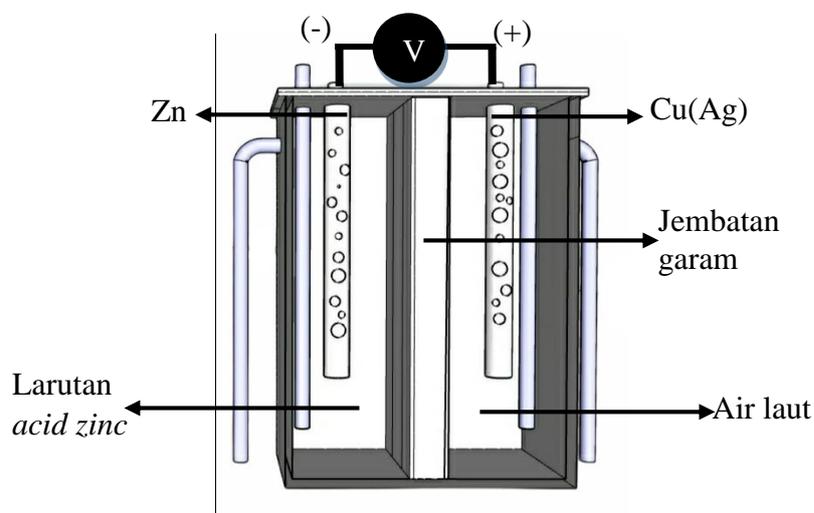
3.4.



Gambar 3.4 Elektroplating Ag pada Cu

3.3.3 Pembuatan Jembatan Garam

Pada tahap ketiga dilakukan proses pembuatan jembatan garam campuran Al_2O_3 (aluminium oksida) + NaCl (air laut) + semen putih tiga roda. Langkah awal membuat jembatan garam ini yakni mencampurkan 102 gram untuk Al_2O_3 1 mol, 58,5 gram untuk NaCl 1 mol dan 50 gram semen putih, kemudian di aduk hingga tiga bahan tersebut tercampur. Kemudian campuran tersebut dicetak langsung didalam sel, lalu keringkan dan tunggu hingga mengeras. Tujuan pembuatan jembatan garam ini untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Jembatan garam ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5. Jembatan garam.

3.3.4 Pembuatan Larutan Acid Zinc

Proses pembuatan larutan *acid zinc* yakni mencampurkan ammonium klorida (NH_4Cl) 150 gram, zinc klorida (ZnCl_2) 40 gram dengan aquades sebanyak 1 liter (Ansari dkk., 2017). Kemudian cek pH pada larutan menggunakan kertas pH universal. Larutan dengan campuran NH_4Cl 150 gram + ZnCl_2 40 gram + 1 liter aquades memiliki pH 5. Pada penelitian ini digunakan variasi pH yakni pH 4, 5 dan 6, untuk meningkatkan pH larutan tersebut menjadi pH 6 perlu ditambahkan dengan

KOH (kalium karbonat) dan untuk menurunkan pH menjadi pH 4 larutan tersebut perlu ditambahkan dengan larutan HCl (asam klorida).

3.3.5 Pengujian sistem dan pengambilan data

Pada tahap selanjutnya ini dilakukan pengujian sistem dan pengambilan data. Pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan sel volta ke multimeter yang telah terhubung ke beban (20 LED yang dipasang seri). Data yang diambil yakni, massa elektrode Zn sebelum dan setelah digunakan, tegangan saat beban dilepas (V_{bl}), tegangan saat beban dipasang (V_b), arus (I), dan intensitas cahaya (lux) yang dihasilkan dari 20 LED. LED yang digunakan diletakkan dalam tempat tertutup untuk mengurangi gangguan cahaya luar saat pengambilan data. Data pengamatan pada penelitian ini diambil 1 jam sekali selama 72 jam berturut-turut. Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk menghitung laju korosi elektrode (**Persamaan 3.1**), hambatan dalam (R_{in}) (**Persamaan 3.2**), dan daya (P) (**Persamaan 3.3**).

$$r = \frac{Km}{\rho AT} \quad (3.1)$$

Keterangan :

r = Laju korosi (mm/year); K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$);

$m = m_0 - m_1$ = massa awal – massa akhir (gr); ρ = Densitas (gr/cm^3);

A = Luas permukaan (cm^2); t = Waktu (jam).

$$R_{in} = \frac{V_{bl} - V_b}{I} \quad (3.2)$$

$$P = V_b \times I \quad (3.3)$$

Keterangan :

R_{in} = hambatan dalam ($k\Omega$); V_{bl} = tegangan tanpa beban (V);

V_b = tegangan dengan beban; I = arus (A); P = daya (watt).

Rancangan data pengamatan dan hasil perhitungan dari hasil penelitian ini, ditunjukkan pada **Tabel 3.3** sampai dengan **Tabel 3.6**.

Tabel 3.3. Data pengamatan karakteristik elektrik air laut.

No	Waktu (Jam)	V_{bl} (V)	V_b (V)	I (mA)	Intensitas Cahaya (<i>Lux</i>)
1					
2					
...					
72					

Tabel 3.4. Hasil perhitungan karakteristik elektrik air laut.

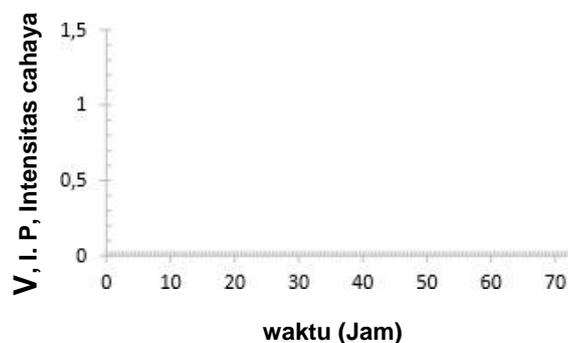
No	Waktu (Jam)	R_{in} (Ω)	P (mW)
1			
2			
...			
72			

Tabel 3.5. Hasil perhitungan laju korosi elektrode

No	Laju korosi (mm/tahun)	
	Cu(Ag)	Zn
1		
2		
3		

Pada penelitian ini juga dilakukan analisis data hasil penelitian dan hasil perhitungan yang telah diperoleh. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan, arus, intensitas cahaya dan daya terhadap waktu.

Rancangan analisis data dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Grafik pengukuran karakteristik energi listrik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan.

1. Urutan pH yang menghasilkan tegangan (V_{bl}), arus (I), daya (P) dan nilai laju korosi dari yang paling tinggi yaitu pH 4 (4,15 volt; 5,34 mA; 14,311 mWatt; 0,916 mm/year), pH 5 (3,93 volt; 3,41 mA; 9,037 mWatt; 0,643 mm/year) dan pH 6 (3,71 volt; 2,39 mA; 6,166 mWatt; 0,474 mm/year)
2. Larutan *acid zinc* dengan variasi pH 4 menghasilkan nilai karakteristik elektrik dan laju korosi yang lebih besar dibandingkan dengan larutan *acid zinc* pH 5 dan pH 6.
3. Nilai pH berbanding terbalik dengan tegangan, kuat arus, daya dan laju korosi yang dihasilkan oleh sel volta.
4. Pemanfaatan larutan *acid zinc* membuat peluang untuk meregenerasi anoda Zn dilihat dari karakteristik elektrik yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan penelitian yang menggunakan elektrolit air laut pada kedua kompartemennya.

4.2 Saran

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

1. Mengaplikasikan regenerasi anoda Zn dengan metode elektrolisis menggunakan larutan *acid zinc*.
2. Membuat sistem instrumentasi pengukuran karakteristik elektrik secara *realtime*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Anderson, M.A., Alberto Cudero and Jose Palma. 2010. Capacitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. *Electrochimica Acta*. No. 55. Hal. 3845-3856.
- Anjarwati, A. 2019. Analisis Aplikasi Jembatan Garam Pada Sel Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu(Ag)-Zn Berbahan Elektrolit Air Laut. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Ansari, I., Indra, B. W., Nurohmawati, F., dan Zakaria, I. 2017. Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan Terhadap Ketebalan Produk dari Elektroplating *Acid Zinc*. *Jurnal Teknik kimia*. Universitas Pamulang. Tangerang Selatan. Vol. 1 No. 1. Hal 1-6.
- Aristian, J. 2016. Desain dan Aplikasi Sistem Elektrik Berbasis Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Arwaditha, R. K. 2017. Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO₃) sebagai Sumber Energi Alternatif. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Atina. 2015. Tegangan dan Kuat Arus Listrik dari Sifat Asam Buah. *Sainmatika*. Vol. 12 No. 2. Hal 28-42.
- Badea, G. E., Corbu, I., Caraban, A., dan Cret. P. 2007. *Seawater Electrolysis for Hydrogen Production*. *Revue Roumaine de Chimie*. Vol. 54 No. 1. Hal 55-61.
- Bardal, Einar. 2003. "*Corrosion and Protection*". Springer. Norway.
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Brady, J. E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Sukmariah Maun. Binarupa Aksara Publisher. Tangerang.

- Chang, Raymond. 2003. *General Chemistry: The essential Concepts*. Diterjemahkan oleh Suminar Setiadi Achmadi, Ph.D. Erlangga. Jakarta. 189-196, 443-454 hlm.
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Diterjemahkan oleh Umar Mansyur. 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 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Fariya, S. dan Rejeki, S. 2015. Seacell (Sea Water Electrochemical Cell) Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Menjadi Cadangan Sumber Energi Listrik Terbarukan sebagai Penerangan pada Sampan. *Jurnal Sain dan Teknologi*. Vol 10. No 01. Hal. 44-58.
- Hakim, A. A. 2011. Pengaruh Inhibitor Korosi Berbasis Senyawa Felonik untuk Proteksi Pipa Baja Karbon pada Lingkungan 0.5, 1.5, 2.5, 3.5% NaCl yang Mengandung Gas CO₂. *Skripsi*. Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Hammond, C. R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition*. CRC press.
- Harahap, M. R. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Circuit*. Vol. 02. No. 01. Hal. 177-180.
- Hudaya, E. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Joko. T. 2010. *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion, 2nd ed*. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey.
- Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi Edisi Kedua*. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Kholiq, I. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. Vol 19 No. 2. Hal 71-91.
- Khormali, A., Petrakov, D. G, & Moghaddam, R. N. (2017). Study of Adsorption/Desorption Properties of a New Scale Inhibitor Package to Prevent Calcium Carbonate Formation During Water Injection in Oil Reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol 153 No. 01. Hal 257-267.

- Kristin, E. 2012. Produksi Energi Listrik Melalui MFC Menggunakan Limbah Industri Tempe. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Kuwahara. 2001. *Geologi laut*. Erlangga. Jakarta.
- Maulana, I. 2018. Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Air Minum Menggunakan Elektrolisis Dan Konduktivitas Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Elektronik Pendidikan Teknik Elektronika*. Vol. 07 No. 2. Hal. 65-87.
- Milanino, R., Rainsford, K. D., dan Velo, G. P. 1989. *Copper and Zinc in Inflammation*. Kluwer Academic Publishers. USA.
- Mulyono, Pribadi R. 2017. Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang Dipasang Di Dalam Tanah. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Nurbani, M. P. 2018. Analisa Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi Baja S45c Hasil Galvanisasi Celup Panas Dengan Metode Kehilangan Berat. *Skripsi*. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Pangestu, S. S. 2017. Analisis Laju Korosi pada Sistem 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., Encep Hudaya, Amir Supriyanto, Warsito dan Arif Surtono. 2016. Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbaru. *Posiding SM SMIAP IV*. Vol. 4. Buku 3. Hal. 1-8.
- Pauzi, G. A., Pangestu, S. S., dan Suciwati, S. W. 2018. Analisis Laju Korosi pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 06. No. 01. Hal. 11-20.
- Pauzi, G. A., Anwar, S., Supriyanto, A., dan Suciwati, S. W. (2021). Analisis Jembatan Garam Campuran Alumina dan Kalsium Karbonat Pada Karakteristik Elektrik Pembangkit Listrik Sel Galvanis dengan Elektrolit Air Laut. *Journal of Energy, Material and Instrumentation Technology*. 2(4), 78-85.
- Pauzi, G. A., Arwaditha, R. K., dan Supriyanto, A. 2017. Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut Dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO₃) Sebagai Sumber Energi Alternatif. *JURNAL Teori dan aplikasi fisika*. Vol. 8 No. 2. Hal 78-82.
- Purnomo. 2010. Pengaruh Keasaman Buah Jeruk Terhadap Konduktivitas Listrik. *ORBITH*. Vol. 6 No. 2. Hal. 276-281.

- Rahmawati, F. 2013. *Elektrokimia Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rizki, K. C. 2019. Analisis pengaruh Elektroplating Perak (Ag) Pada Tembaga (Cu) Terhadap Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Sadono, R. 2017. Elektrokimia. <http://harischem.blogspot.co.id/2017/>. Diakses pada tanggal 2 Mei 2020 pukul 21.40.
- Sugiyarto, K. H. dan Suyanti, R. D. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Vlack, L.H. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, M.E., M.Met. Erlangga. Jakarta.
- Wahid, A., Ir. Junaidi, Ms., dan Dr. Ir. H. M. Iqbal Arsyad, M. 2014. Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. *Jurnal Teknik Elektro UNTAN*, 2(1).
- Wicaksono, D., T. L. Bhakti., R. B. Taruno., M. R. S. Subroto., dan A. Mustikasari. 2021. Sistem Sensor Untuk Pemantauan Kadar Oksigen Terlarut Berbasis Galvanik Pada Kolam Budidaya Ikan Air Tawar. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*. Vol. 9 No. 2. Hal. 83-89.
- Widayatno, T. dan Roy, S. 2014. Nickel Electrodeposition using Enface. *Journal of Applied Electrochemistry*. DOI 10.1007/s10800-014-0686-y. Vol. 44. Hal. 807-820.
- Widayatno, T. 2016. Modelling and Simulation of Current Distribution of Nickel Electrodeposition from Low Electrolyte Concentration at A Narrow Interelectrode Gap. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11 No. 8. Hal. 5183.
- Winston, Revie R, 2008, *Corrosion And Corrosion Control An Introduction To Corrosion Science And Engineering Fourth Edition*, A John Wiley & Sons, Inc,
- Yulianti, D., Supriyanto, A., dan Pauzi, G. A. 2017. Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandarlampung.