

**PERANCANGAN SEL ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN ANODA  
YANG DAPAT DIREGENERASI MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC*  
DAN JEMBATAN GARAM CAMPURAN ALUMINA DAN SEMEN**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Syaima Camilla**

**1917041083**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### PERANCANGAN SEL ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN ANODA YANG DAPAT DIREGENERASI MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC* DAN JEMBATAN GARAM CAMPURAN ALUMINA DAN SEMEN

Oleh

**SYAIMA CAMILLA**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi massa jembatan garam campuran alumina dan semen pada sel volta dua kompartemen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4 dan katolid air laut dengan elektroda Cu(Ag)-Zn terhadap nilai karakteristik elektrik dan laju korosi yang dihasilkan anoda Zn. Komposisi massa jembatan garam divariasikan dalam 4 (empat) perbandingan dari setiap jembatan garam yaitu perbandingan massa alumina 100 gram, 150 gram, 200 gram, dan 250 gram dengan massa semen konstan 100 gram. Pengambilan data pada sel volta dilakukan setiap 1 jam sekali selama 3 hari (72 jam). Karakteristik elektrik yang dihasilkan sel volta yaitu tegangan, arus, intensitas cahaya, hambatan dan daya. Laju korosi yang dihasilkan anoda Zn dilihat dari massa kehilangan anoda selama pemakaian. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa komposisi alumina pada campuran jembatan garam tidak menjadi faktor utama yang dapat mempengaruhi keluaran karakteristik elektrik sel volta dan laju korosi yang dihasilkan anoda Zn melainkan faktor lain berupa kelembaban dan reaksi kimia.

**Kata kunci:** Jembatan garam, alumina, sel volta

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF SEAWATER ELECTROCHEMICAL CELL WITH REGENERABLE ZINC ACID ANODE AND SALT BRIDGE MIXTURE OF ALUMINA AND CEMENT**

**By**

**SYAIMA CAMILLA**

*The research was conducted to analyze the influence of variations in the mass of a salt bridge mixture of alumina and cement in a two-compartment voltaic cell using zinc acid anode at pH 4 and a seawater cathode with Cu(Ag)-Zn electrodes on the electrical characteristics and corrosion rate of the Zn anode. The mass composition of the salt bridge was varied in four ratios for each salt bridge, with the mass of alumina at 100 grams, 150 grams, 200 grams, and 250 grams, while the mass of cement was kept constant at 100 grams. Data collection in the voltaic cell was performed every 1 hour for 3 days (72 hours). The electrical characteristics produced by the voltaic cell included voltage, current, light intensity, resistance, and power. The corrosion rate of the Zn anode was determined by the mass loss of the anode during usage. Based on the research results, it can be concluded that the composition of alumina in the salt bridge mixture is not the primary factor affecting the electrical characteristics output of the voltaic cell and the corrosion rate of the Zn anode; other factors include humidity and chemical reactions.*

**Keyword:** Salt bridge, alumina, voltaic cell

**PERANCANGAN SEL ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN ANODA  
YANG DAPAT DIREGENERASI MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC*  
DAN JEMBATAN GARAM CAMPURAN ALUMINA DAN SEMEN**

**Oleh**

**SYAIMA CAMILLA**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : **PERANCANGAN SEL ELEKTROKIMIA  
AIR LAUT DENGAN ANODA YANG  
DAPAT DIREGENERASI MENGGUNAKAN  
ANOLID ACID ZINC DAN JEMBATAN  
GARAM CAMPURAN ALUMINA DAN  
SEMEN**

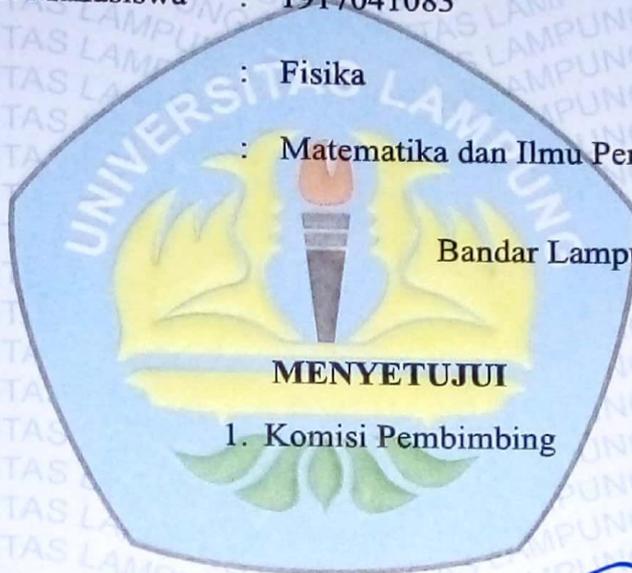
Nama Mahasiswa : Syaima Camilla

Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041083

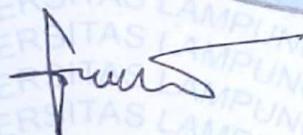
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 13 November 2023

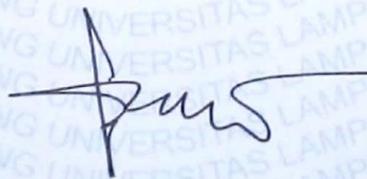


1. Komisi Pembimbing

  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

  
**Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**  
NIP. 196504071991111001

2. Ketua Jurusan Fisika

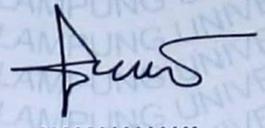
  
**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua

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



Sekretaris

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



Penguji Bukan Pembimbing

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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 1971100120050011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 November 2023

## PERNYATAAN

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

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 November 2023



  
**Syaima Camilla**  
NPM. 1917041083

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Syaima Camilla merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Muhammad Ihsan Sjatir dan Ibu Dewi Agustina yang dilahirkan di Tangerang pada tanggal 25 Juli 2001. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak-kanak (TK) Islam Gunung Jati pada tahun 2007, Sekolah Dasar (SD) Negeri Kampung Bambu III pada tahun 2013, Madrasah Tsanawiyah (MTs) Negeri 1 Kota Tangerang pada tahun 2016 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 23 Kabupaten Tangerang pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2019 dan mengambil konsentrasi dalam bidang Instrumentasi Fisika.

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Anggota Biro Dana dan Usaha tahun 2019-2021, UKM-F Rohani Islam (ROIS) sebagai Pengurus Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga tahun 2020 serta sebagai Sekretaris Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga tahun 2021, dan pada tahun 2022 penulis mengikuti lembaga legislasi Dewan Perwakilan Mahasiswa (DPM) FMIPA sebagai Sekretaris Komisi IV Hubungan Luar dan Kemediasan. Selain aktif organisasi, penulis juga pernah mengikuti lomba pada kegiatan *Indonesian International Invention Expo 2022* yang diadakan oleh Politeknik Negeri Semarang pada tahun 2022 dan memperoleh medali perunggu. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Elektronika Dasar II pada tahun 2022.

Penulis juga melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2022 di Balai Besar Teknologi Konversi Energi – Badan Riset dan Inovasi Nasional (B2TKE – BRIN) yang berlokasi di Kawasan Puspitek Serpong, Tangerang Selatan dan menulis laporan yang berjudul “Analisis Pengaruh Panas dan Kelembapan Terhadap Ketahanan Modul Surya Menggunakan Alat Simulasi *Climatic Chamber*”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode II tahun 2022 di Pekon Kalibening, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus. Penulis menyelesaikan penelitian skripsi di Laboratorium Workshop Jurusan Fisika dengan judul **“Perancangan Sel Elektrokimia Air Laut dengan Anoda yang dapat Diregenerasi Menggunakan Anolid *Acid Zinc* dan Jembatan Garam Campuran Alumina dan Semen”**

## **MOTTO**

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu selepas banyaknya kesabaran (yang kau jalani) yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa betapa pedihnya rasa sakit.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Stay focused, stay determined, stay unstoppable.”

“Step up so others won’t get stepped on.”

“Today a reader, tomorrow a leader”

- Margaret Fuller -

## PERSEMBAHAN

### *Bismillahirrahmanirrahim..*

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

### *Kedua Orang Tuaku*

Bapak Muhammad Ihsan Sjatir dan Ibu Dewi Agustina

Terimakasih atas segala dukungan, do'a, usaha dan fasilitas yang selalu diberikan untuk kesuksesan putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

### *Adik dan Sepupu*

Syaikha Muthia Hasya dan Cucu Keluarga Cepman

Terimakasih atas segala dukungan, saran, dan semangat yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka.

### *Bapak dan Ibu Dosen*

Terimakasih atas ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah diajarkan

### *Sahabat dan Rekan Seperjuangan Fisika 2019*

Terimakasih untuk bantuan, dukungan, kebersamaan dan pengalaman selama berkuliah di Lampung

### *Almamater Tercinta*

UNIVERSITAS LAMPUNG

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan berjudul **“Perancangan Sel Elektrokimia Air Laut dengan Anoda yang Dapat Diregenerasi Menggunakan Anolid *Acid Zinc* dan Jembatan Garam Campuran Alumina dan Semen**”. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Prodi Fisika FMIPA Universitas Lampung dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi penulis maupun pembaca.

Bandar Lampung, 13 November 2023

Penulis,

Syaima Camilla

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas kuasanya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan pihak lain. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan waktu, bimbingan dan arahan dalam penelitian dan proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah mengoreksi format penulisan, memberikan kritik dan saran selama penulisan skripsi.
3. Ibu Sri Wahyu Suciyati, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik.
4. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
6. Kedua orang tua, adik dan keluargaku atas segala do'a, dukungan, nasihat dan kasih sayang kepada penulis .
7. Teman-teman tim penelitian "laut" Sohwatunisa, Nenchy Anugerah dan Fina Damayanti atas dukungan dan kerjasamanya sehingga kita dapat menyelesaikan penelitian ini.
8. Teman-teman seperjuangan Alya Hafiz, Khairunnisa, Lisana Shidqin, Putri Ramadhani, Yuyun Savela, Tri Lestari, Dheovanka Lambuti, Naufal Zaidan, Putra Riski dan Gilang yang telah memberikan semangat, bantuan, dukungan, motivasi, kebersamaan dan tempat berkeluh kesah selama masa perkuliahan.

9. Penghuni Kosan Anjar Aira Rahma, Aquarisma Diansari, Chintia Sindi, Hanny Yonesta, Kurnia Alifah, Mawar Alhani yang telah menjadi “rumah” selama di rantauan untuk semua kebaikan, kebersamaan, dukungan dan waktu yang telah kalian berikan setiap hari.
10. Keluarga DPM FMIPA 2022 dan PANAROMA yang selalu merayakan semua pencapaian, memberikan pengetahuan, pengalaman dan menjadi *moodbooster* penulis selama mengerjakan skripsi.
11. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2019 yang telah berjuang bersama selama masa perkuliahan.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 13 November 2023

Penulis,

Syaima Camilla

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Penelitian Terkait .....	7
2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	10
2.3 Dasar Teori.....	11
2.3.1 Elektrokimia.....	11
2.3.2 Sel Volta.....	11
2.3.3 Elektroda (Anoda Katoda) .....	13
2.3.4 Elektrolit.....	14

2.3.5	Korosi.....	15
2.3.6	Elektroplating <i>Acid Zinc</i> .....	15
2.3.7	Karakteristik Air Laut .....	18
2.3.8	Karakteristik Semen Murni ( <i>Portland</i> ).....	18
2.3.9	Karakteristik Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ).....	20
2.3.10	Jembatan Garam.....	20
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	22
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.3	Prosedur Penelitian .....	23
3.3.1	Perancangan dan Pembuatan Sistem Energi Terbarukan.....	25
3.3.2	Pembuatan Jembatan Garam .....	26
3.3.3	Proses Elektroplating Ag pada Cu .....	27
3.3.4	Pembuatan Larutan <i>Acid Zinc</i> .....	27
3.3.5	Pengujian Alat dan Pengambilan Data.....	28
3.4	Metode Analisis Data.....	32
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1	Realisasi Sel Volta .....	34
4.2	Hasil Penelitian .....	35
4.2.1	Data Pengamatan dan Perhitungan Karakteristik Elektrik.....	36
4.2.2	Laju Korosi Elektroda Zn.....	49
<b>V.</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>53</b>
5.1	Simpulan .....	53
5.2	Saran .....	53
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Rangkaian Pengujian Karakteristik Elektrik Air Laut.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Sketsa Alat.....	8
<b>Gambar 2.3</b> Desain Sel Volta .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Sel Volta .....	12
<b>Gambar 2.5</b> Rangkaian Proses Elektroplating.....	17
<b>Gambar 2.6</b> Rangkaian Sel Elektrokimia dengan Jembatan Garam.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	24
<b>Gambar 3.2</b> Desain 5 Sel Volta (Bagian Luar).....	25
<b>Gambar 3.3</b> Desain Sel Volta (Bagian Dalam).....	25
<b>Gambar 3.4</b> Jembatan Garam .....	27
<b>Gambar 3.5</b> Desain Pengujian Sel Volta .....	28
<b>Gambar 3.6</b> Grafik Pengukuran Arus.....	32
<b>Gambar 3.7</b> (a) Grafik Pengukuran Tegangan Beban Sel Volta; (b) Grafik Pengukuran Tegangan Tanpa Beban Sel Volta .....	32
<b>Gambar 3.8</b> Grafik Intensitas Cahaya .....	33
<b>Gambar 4.1</b> Realisasi Sistem Sel Volta.....	34
<b>Gambar 4.2</b> Elektroplating Anoda Zn .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Tegangan tanpa Beban dan Tegangan dengan Beban Selama 72 jam .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Kuat Arus Selama 72 jam.....	41
<b>Gambar 4.5</b> Intensitas Cahaya Selama 72 jam .....	44
<b>Gambar 4.6</b> Anoda Zn Setelah Penggunaan Selama 24 jam .....	49
<b>Gambar 4.7</b> Anoda Zn Setelah Penggunaan Selama 48 jam .....	50
<b>Gambar 4.8</b> Anoda Zn Setelah Penggunaan Selama 72 jam .....	51

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Alat Penelitian .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Bahan Penelitian.....	23
<b>Tabel 3.3</b> Data Pengamatan Karakteristik Elektrolit Air Laut .....	30
<b>Tabel 3.4</b> Hasil Perhitungan Karakteristik Elektrik Air Laut.....	30
<b>Tabel 3.5</b> Tegangan Sel Volta dengan Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari .	30
<b>Tabel 3.6</b> Arus Sel Volta dengan Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari .....	31
<b>Tabel 3.7</b> Hasil Perhitungan Kehilangan Massa pada Korosi Zn.....	31
<b>Tabel 3.8</b> Hasil Perhitungan Laju Korosi Zn Menggunakan Larutan <i>Acid Zinc</i> pH 4 dengan Variasi Massa Jembatan Garam .....	38
<b>Tabel 4.1</b> Tegangan Tanpa Beban ( $V_{bL}$ ) Selama 72 jam.....	38
<b>Tabel 4.2</b> Tegangan Dengan Beban ( $V_b$ ) Selama 72 jam.....	39
<b>Tabel 4.3</b> Kuat Arus Selama 72 jam.....	42
<b>Tabel 4.4</b> Intensitas Cahaya Selama 72 jam.....	44
<b>Tabel 4.5</b> Hambatan Dalam ( $R_{in}$ ) Sel Volta Selama 3 Hari.....	46
<b>Tabel 4.6</b> Daya (P) Sel Volta Selama 3 Hari.....	47
<b>Tabel 4.7</b> Tegangan Sel Volta dengan Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari .	48
<b>Tabel 4.8</b> Arus Sel Volta dengan Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari .....	48
<b>Tabel 4.9</b> Laju Korosi Zn dengan Anolid Acid Zinc pH 4 Selama 3 Hari.....	51

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi menjadi kebutuhan penting di berbagai negara termasuk negara Indonesia. Indonesia memiliki beranekaragam jenis energi, seperti energi angin, energi panas, energi listrik, dan lainnya (Mulyani & Hartono, 2018). Energi listrik menjadi kebutuhan pokok yang harus terpenuhi karena banyak aktivitas dalam kehidupan manusia yang harus diaktifkan atau digerakkan oleh energi listrik (Masnur, 2021). Kebutuhan energi listrik terus bertambah seiring bertambahnya jumlah penduduk Indonesia, hal ini harus diiringi dengan ketersediaan energi tersebut agar tidak terjadi kelangkaan energi akibat sumber daya fosil (Fang *et al.*, 2016). Dampak negatif yang dihasilkan dari penggunaan sumber daya fosil ini dapat diatasi dengan energi alternatif. Energi alternatif berbeda dengan energi terbarukan. Energi alternatif merupakan sumber energi pengganti sumber daya fosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui. Sementara itu, energi terbarukan adalah bagian dari energi alternatif seperti tenaga air, tenaga angin, tenaga matahari, air laut, dan lainnya (Diantari *et al.*, 2018).

Penggunaan air laut sebagai sumber energi listrik belum dapat dimanfaatkan dengan maksimal, padahal penggunaan air laut untuk menciptakan energi listrik merupakan solusi yang potensial dan murah bagi kebutuhan listrik masyarakat khususnya masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar pesisir pantai (Pauzi *et al.*, 2018). Air laut terdiri atas campuran 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam, gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut (Yuningsih & Masduki, 2011). Air laut memiliki kadar garam sekitar  $\pm 3,5\%$  atau 35 gram dalam 1 liter (1000 ml) air laut (Adriani, 2020). Kandungan garam yang

dimiliki air laut dapat dijadikan larutan elektrolit yang membentuk ion-ion sehingga dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan metode elektrokimia (Pauzi *et al.*, 2016).

Metode elektrokimia dilakukan dengan memanfaatkan proses reduksi-oksidasi (redoks) yaitu elektroda negatif (anoda) akan mengalami reaksi oksidasi sehingga elektron pada permukaan anoda akan terlepas dan dibawa oleh ion elektrolit menuju elektroda positif (katoda) (Güell *et al.*, 2008). Proses elektrokimia membutuhkan media sebagai tempat pertukaran elektron dalam suatu reaksi yang dinamakan larutan. Proses elektrokimia juga menggunakan logam yang terdiri dari katoda dan anoda yang dicelupkan pada larutan elektrolit (Harahap, 2016). Ada beberapa jenis logam yang dapat digunakan sebagai elektroda dengan ketentuan logam anoda mudah mengalami oksidasi dan logam katoda mudah mengalami reduksi (Jauharah, 2013). Salah satu pasangan elektroda yang memenuhi ketentuan tersebut dan memiliki potensial lebih besar dibandingkan pasangan elektroda Cu-Al dan C-Zn adalah pasangan elektroda Cu-Zn (Pauzi *et al.*, 2016). Elektroda yang berfungsi sebagai anoda memiliki potensial korosi lebih negatif sehingga anoda cenderung bersifat korosif (Revie & Uhlig, 2008).

Korosi merupakan suatu peristiwa penurunan kualitas yang terjadi pada logam karena terjadinya reaksi kimia antara bahan logam dengan unsur – unsur lain yang ada di lingkungan sekitar (Trethewey & Chamberlain, 1991). Korosi juga dapat diartikan sebagai suatu proses degradasi atau perusakan material yang dipengaruhi oleh lingkungan dan sekitarnya (Utomo, 2009). Salah satu faktor yang mempengaruhi korosi yaitu kandungan air yang mengandung senyawa elektrolit dan pH air yang rendah (Sidiq, 2013). Laju korosi sendiri tidak dapat dihindari tetapi laju korosi dapat dikendalikan (Budiyanto *et al.*, 2017). Metode yang dapat digunakan untuk mencegah korosi yaitu mengubah media yang berhubungan dengan logam, menyeleksi media yang akan digunakan, memberikan proteksi katodik dan anodik, menggunakan inhibitor korosi, dan melakukan pelapisan pada logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung (Sidiq, 2013). Pelapisan logam induk dengan material pelindung dapat dilakukan melalui proses elektroplating.

Anoda yang digunakan dalam penelitian Pauzi *et al.* (2020) adalah sebuah seng (Zn) dan katoda yang digunakan adalah tembaga (Cu) yang dilapisi dengan logam Ag melalui proses elektroplating. Elektroplating adalah proses pelapisan dimana terjadi pengendapan suatu pelapis logam pelindung (anoda) pada permukaan logam lain (katoda) yang dilapisi menggunakan arus listrik DC dan tegangan konstan (Budiyanto *et al.*, 2017). Proses elektroplating ini telah banyak digunakan dalam beberapa penelitian Ansari *et al.* (2017). Penelitian ini menerapkan *acid zinc electroplating* untuk melapisi permukaan logam *high carbon steel, cast iron, malleable iron, wrought* dan *forged iron* dengan seng secara langsung menggunakan larutan elektrolit campuran ammonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ). Anoda yang digunakan adalah 99,99% Zn dengan suhu larutan untuk *acid zinc electroplating* sebesar 20-50°C.

Penelitian tentang air laut sebagai elektrolit di dalam sel baterai untuk pembangkit tenaga listrik telah dilakukan oleh Pauzi *et al.* (2016). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel elektrokimia berjenis sel volta yang mengaplikasikan tembaga dan seng sebagai katoda dan anoda untuk diaplikasikan dalam baterai air laut. Dalam sel volta, larutan elektrolit yang dapat digunakan sebagai katodid adalah air laut dan anolid yang digunakan adalah larutan *acid zinc* (Pauzi *et al.*, 2022). Menurut Susanto *et al.* (2017), hasil penggunaan perpaduan elektroda tembaga-seng menghasilkan nilai tegangan lebih tinggi dengan selisih 839 mV dibandingkan perpaduan elektroda tembaga-aluminium dari segi luas permukaan yang sama.

Di dalam sel volta antara air laut dan larutan *acid zinc* diperlukan pembatas agar tidak terjadi korsleting aliran listrik, salah satunya adalah jembatan garam. Jembatan garam merupakan interaksi antara residu – residu asam amino yang memiliki muatan (Malau & Sianturi, 2017). Jembatan garam yang menjadi pembatas antar sel berfungsi untuk menyetarakan anion dan kation di dalam larutan elektrolit agar ion – ion di dalamnya menjadi seimbang dan terjadi proses elektrokimia. Syarat jembatan garam yaitu medianya bisa dilewati ion dan hanya sedikit melewatkan pelarut (Arizal *et al.*, 2017). Karakteristik jembatan garam

yang hanya sedikit melewati pelarut dalam sel volta dapat membuat aliran elektron dalam larutan menjadi seimbang sehingga menghasilkan arus listrik (Haq *et al.*, 2018). Jembatan garam di dalam sel volta dapat dibuat menggunakan campuran semen dan aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Semen adalah serbuk yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang berfungsi untuk membuat beton ataupun membuat tembok (Fitri *et al.*, 2011). Sementara itu, aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adalah salah satu jenis logam ringan polimorfi dengan berbagai struktur kristal yang disebut korundum (Dianita & Pratapa, 2014). Fungsi aluminium oksida dalam pembuatan jembatan garam yaitu untuk mempengaruhi besar keluaran yang dihasilkan sel volta (Parkash, 2016).

Logam yang mudah terkena korosi menjadi salah satu kendala untuk membuat sel elektrokimia berbasis air laut dan larutan *acid zinc*. Larutan *acid zinc* mempunyai pH rendah sehingga larutan bersifat asam dan membuat elektroda yang digunakan di dalam sel volta menjadi lebih cepat korosi. Reaksi oksidasi pada elektroda menyebabkan korosi dan massa elektroda yang berkurang. Salah satu upaya yang dilakukan yaitu membuat anoda yang dapat diregenerasi menggunakan metode elektroplating. Regenerasi anoda dilakukan di dalam sel volta dengan jembatan garam yang digunakan sebagai elektroda pada proses elektroplating. Metode kerja untuk meregenerasi anoda menggunakan metode elektroplating ini dengan cara mengembalikan ion dalam anolid ke permukaan anoda (Sani & Prasetya, 2018).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian yang membahas tentang perancangan sel elektrokimia menggunakan jembatan garam yang dibuat dari campuran alumina dan semen dengan anoda Zn yang dapat diregenerasi dan anolid *acid zinc*. Bahan alumina yang digunakan akan dicampurkan ke dalam adonan semen. Kelebihan dari alumina yaitu memiliki sifat ketahanan listrik yang baik, tahan terhadap asam dan harganya relatif murah. Penggunaan bahan alumina dan semen untuk membuat jembatan garam dalam penelitian ini diharapkan dapat membuat sistem energi terbarukan dengan air laut yang lebih efektif dan lebih baik dalam menghantarkan listrik. Dalam penelitian ini, anoda yang digunakan yaitu

seng (Zn) dan katoda yang digunakan yaitu tembaga (Cu) yang telah dilapisi oleh logam perak (Ag).

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana rancangan sel elektrokimia dengan jembatan garam menggunakan campuran alumina dan semen?
2. Bagaimana mekanisme dari sel elektrokimia menggunakan anoda Zn yang dapat diregenerasi dengan anolid *acid zinc*?
3. Bagaimana pengaruh variasi jembatan garam terhadap karakteristik elektrik dan laju korosi anoda Zn yang digunakan pada sel elektrokimia?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui rancangan sel elektrokimia dengan jembatan garam menggunakan campuran alumina dan semen.
2. Menganalisis mekanisme sistem dari sel elektrokimia menggunakan anoda Zn yang dapat diregenerasi dengan elektrolit *acid zinc* dan air laut.
3. Mengetahui pengaruh keluaran karakteristik elektrik dan laju korosi anoda dari sel elektrokimia terhadap jembatan garam dengan variasi alumina dan semen.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memodifikasi rancangan sistem sel elektrokimia air laut menggunakan jembatan garam.
2. Memberikan referensi penelitian mengenai variasi jembatan garam dengan alumina dan semen.

3. Memberikan pengetahuan dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai sistem energi terbarukan terkhusus mengenai air laut.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jembatan garam yang digunakan terbuat dari campuran alumina dan semen.
2. Elektroda yang digunakan pada sel elektrokimia yaitu Cu(Ag) dan Zn.
3. Bahan yang digunakan sebagai anolid adalah *acid zinc* dan katolid adalah air laut.
4. Menggunakan metode elektrokimia yaitu sel volta.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

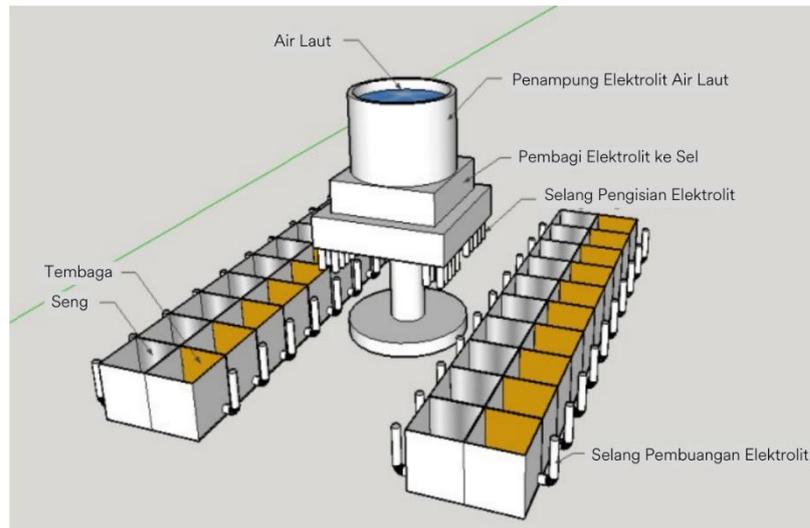
### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait penggunaan air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan khususnya karakteristik air laut telah banyak dilakukan salah satunya oleh Pauzi *et al.* (2016). Penelitian ini menggunakan 20 sel yang disusun seri dengan 3 pasangan elektroda yaitu elektroda Cu-Zn, Cu-Al, dan C-Zn yang bertujuan untuk menghasilkan nilai potensial sel yang bervariasi. Data pengamatan yang digunakan terdiri dari data tanpa beban dan menggunakan beban rangkaian LED dengan hambatan  $1000 \Omega$ . Volume air laut yang digunakan yaitu 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml. Rangkaian pengujian karakteristik elektrik air laut ini ditunjukkan pada **Gambar 2.1**. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa besar volume air laut maka semakin pula tegangan, arus dan daya yang diperoleh untuk menyalakan LED. Berdasarkan ketiga pasangan elektroda yang digunakan dalam penelitian ini, hanya elektroda Cu-Zn dengan volume air laut 200 ml yang dapat menyalakan 5 buah LED paling lama.



**Gambar 2.1** Rangkaian pengujian karakteristik elektrik air laut (Pauzi *et al.*, 2016)

Penelitian mengenai karakteristik elektrik air laut juga telah dilakukan oleh Jannert *et al.* (2018). Penelitian ini menggunakan elektrolit air laut yang telah disaring dengan elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) dan mendesain sebuah alat penghasil energi alternatif dengan menggunakan air laut. Media yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan akrilik yang dibentuk menjadi kotak persegi membentuk 40 sel elektrolit. Alat yang dirancang oleh Jannert *et al.* ini dibuat dengan saluran pengisian dan pengosongan elektrolit dalam sistem tertutup untuk mencegah kontak langsung elektroda terhadap udara sehingga mengurangi terjadinya korosi pada anoda. Sketsa alat penghasil energi alternatif ini ditunjukkan pada **Gambar 2.2**. Dalam penelitian tersebut menghasilkan keluaran tertinggi tegangan tanpa beban ( $V_{bl}$ ) dan tegangan dengan beban ( $V_b$ ) sebesar 31,5 V; kuat arus ( $I$ ) sebesar 7,8 mA; daya ( $P$ ) sebesar 101,1 mW; dan iluminasi ( $Lux$ ) sebesar 426,4 *lux* dengan durasi nyala lampu 8 jam pada pengujian air laut tidak tersaring dengan rangkaian seri. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa semakin lama alat digunakan maka semakin menurun karakteristik elektrik yang dihasilkan.



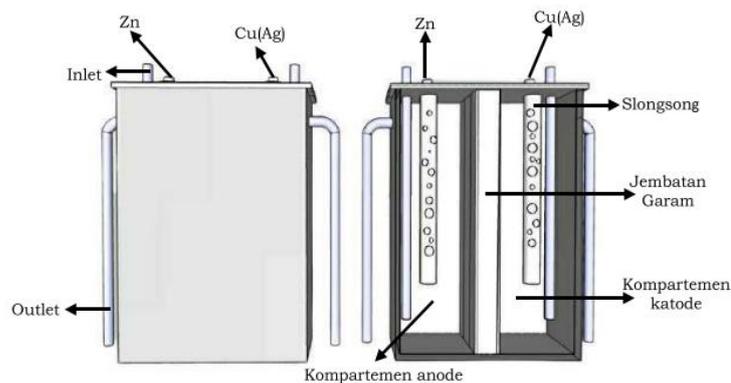
**Gambar 2.2** Sketsa Alat (Jannert *et al.*, 2018)

Penggunaan bahan alumina dalam elektrolit air laut telah dilakukan dalam penelitian Yuliansyah *et al.* (2020). Penelitian ini menggunakan elektrolit air laut dan pasangan elektroda Cu-Zn. Variasi air laut yang digunakan dalam penelitian ini

yaitu air laut murni, air laut yang telah disaring, dan air laut yang diberi tambahan alumina. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa penambahan alumina pada elektrolit air laut menghasilkan nilai arus, tegangan, dan daya yang lebih kecil dibandingkan elektrolit air laut murni dan air laut telah disaring tetapi lebih cepat mencapai hasil konstan dibandingkan elektrolit air laut murni dan air laut telah disaring. Selain itu, didapatkan kesimpulan bahwa volume elektrolit air laut yang digunakan tidak berpengaruh terhadap nilai tegangan yang dihasilkan tetapi berpengaruh terhadap lama hidup lampu LED yang digunakan.

Pada penelitian Pauzi *et al.* (2021) mengenai jembatan garam menggunakan elektrolit air laut dengan campuran alumina dan kalsium karbonat dengan 4 variasi. Variasi komposisi antara alumina dan kalsium karbonat yang digunakan yaitu 1 mol:1 mol pada variasi pertama, 0,1 mol:0,1 mol pada variasi kedua, 1 mol:0,1 mol pada variasi ketiga, dan 0,1 mol:1 mol pada variasi keempat. Berdasarkan analisis dari penelitian tersebut, semakin besar konsentrasi bahan alumina dalam jembatan garam maka akan semakin besar nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Sementara itu, semakin besar konsentrasi bahan kalsium karbonat dalam jembatan garam maka akan semakin besar nilai hambatan yang dihasilkan.

Penggunaan jembatan garam di dalam sel volta juga sudah digunakan pada penelitian Pauzi *et al.* (2022). Jembatan garam yang dibuat terdiri dari campuran aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), semen putih tiga roda, dan NaCl. Campuran dari ketiga bahan tersebut dicetak ke dalam sel volta untuk menghindari kebocoran. Sel volta yang dibuat terdiri dari sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn dengan dua kompartemen yang dibatasi oleh sebuah jembatan garam. Desain sel volta tersebut ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Desain Sel Volta (Pauzi *et al.*, 2022)

Variasi larutan *acid zinc* yang digunakan yaitu larutan dengan pH 4, 5, dan 6. Penggunaan larutan *acid zinc* dengan pH yang lebih rendah akan meningkatkan karakteristik elektrik dari sel volta serta meningkatkan nilai laju korosi yang dihasilkan. 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 (Pauzi *et al.*, 2022).

## 2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya terletak pada variasi aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang digunakan dalam campuran jembatan garam dan desain jembatan garam yang ada di dalam sel volta. Penelitian ini hanya menggunakan dua bahan untuk membuat jembatan garam dengan variasi campuran alumina dan semen perbandingan 100:100, 150:100, 200:100, dan 250:100. Variasi perbandingan yang akan digunakan adalah perbandingan variasi massa total di setiap 5 sel yang akan digunakan dengan campuran alumina + semen + air laut (NaCl). Massa semen di setiap perbandingan jembatan garam konstan, tetapi variasi massa alumina dan NaCl di setiap perbandingan jembatan garam berbeda-beda. Desain jembatan garam yang akan dibuat juga berbeda dengan penelitian sebelumnya yaitu jembatan garam dibentuk seperti “bak” untuk mengurangi tingkat kebocoran larutan elektrolit yang ada di dalamnya. Setiap sel volta berisi sepasang

elektroda Cu(Ag)-Zn yang dibatasi oleh sebuah jembatan garam. Sel volta yang akan dibuat menggunakan anoda Zn yang dapat diregenerasi dengan metode elektroplating. Anolid yang digunakan pada bagian anoda Zn di dalam sel volta berupa larutan *acid zinc* dengan pH 4 dan katolid yang digunakan pada bagian katoda Cu(Ag) berupa air laut (NaCl).

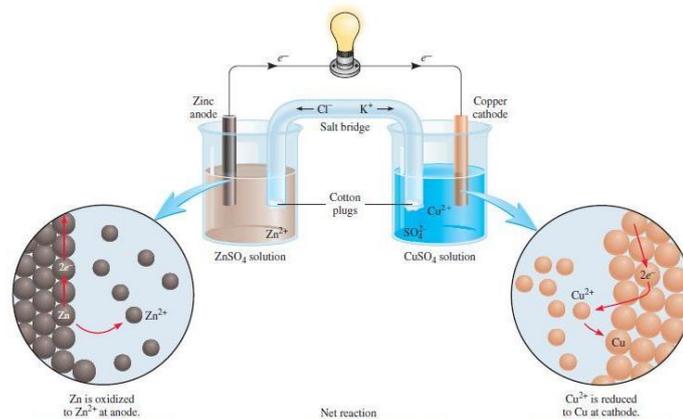
## 2.3 Dasar Teori

### 2.3.1 Elektrokimia

Elektrokimia adalah ilmu kimia yang mempelajari hubungan antara reaksi kimia dengan arus listrik (Riyanto, 2013). Elektrokimia juga mempelajari tentang perpindahan elektron antara elektroda positif dan elektroda negatif pada sebuah media yang disebabkan karena elektroda tersebut diberikan penghantar listrik. Konsep elektrokimia didasari oleh reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan larutan elektrolit. Reaksi redoks merupakan gabungan dari reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara bersamaan. Pada reaksi reduksi terjadi peristiwa penangkapan elektron sedangkan reaksi oksidasi merupakan peristiwa pelepasan elektron yang terjadi pada media pengantar pada sel elektrokimia (Harahap, 2016).

### 2.3.2 Sel Volta

Jenis sel elektrokimia yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah sel volta. Sel volta dapat menghasilkan listrik apabila dua buah logam sebagai elektroda yang terhubung satu sama lain dicelupkan pada elektrolit air laut dan memiliki kedua logam tersebut memiliki beda potensial (Riyanto, 2013). Prinsip kerja dari sel volta dengan dua buah logam sebagai elektroda yang dihubungkan dengan jembatan garam di dalam larutan elektrolit ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Sel Volta (Samsudin & Yohannes, 2019)

Urutan deret volta yaitu: Li – K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Ni – Sn – Pb – H – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au. Deret volta disusun berdasarkan daya reduksi dan oksidasi dari masing – masing logam. Pada deret volta, unsur logam dengan potensial negatif diletakkan di bagian kiri dan unsur logam dengan potensial positif diletakkan di bagian kanan (Mulyono, 2017). Urutan deret volta dapat diartikan bahwa semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka logam semakin reaktif atau semakin mudah melepas elektron dan logam semakin mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka logam semakin kurang reaktif atau semakin sulit melepas elektron dan logam semakin mudah mengalami reduksi (Dogra, 1990). Berdasarkan deret volta dapat terlihat bahwa logam Cu memiliki nilai potensial lebih besar dibandingkan logam Zn, Al, dan Fe. Logam yang memiliki potensial lebih besar dapat digunakan sebagai elektroda positif (katoda), sedangkan logam yang memiliki potensial lebih kecil dapat digunakan sebagai elektroda negatif (anoda). Oleh karena itu, pasangan elektroda yang terbentuk salah satunya adalah Cu-Zn (Hendri *et al.*, 2015).

### 2.3.3 Elektroda (Anoda Katoda)

Elektroda adalah sebuah konduktor yang dapat dilalui oleh arus listrik menggunakan sistem sel volta. Elektroda biasanya terbuat dari bahan logam seperti timah, perak, tembaga, dan seng. Elektroda dapat digunakan sebagai salah satu perangkat untuk membuat baterai dalam bidang industri dan medik (Chang, 2003). Elektroda juga dapat digunakan untuk mengukur potensial aksi dan memindahkan transmisi ion ke penyalur ion (Gabriel, 1996). Elektroda terdiri elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif disebut anoda yang berfungsi sebagai penerima elektron sementara elektroda negatif disebut katoda yang berfungsi sebagai pemberi elektron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif (anoda) ke kutub negatif (katoda) sedangkan elektron akan mengalir dari katoda menuju anoda (Hamid *et al.*, 2016).

Elektroda adalah sebuah konduktor yang dapat dilalui oleh arus listrik menggunakan sistem sel volta. Elektroda biasanya terbuat dari bahan logam seperti timah, perak, tembaga, dan seng. Elektroda dapat digunakan sebagai salah satu perangkat untuk Susunan rangkaian elektroda dapat mempengaruhi tegangan yang dihasilkan suatu sistem energi terbarukan. Elektroda yang disusun secara seri dapat menambah nilai tegangan yang dihasilkan daripada elektroda yang disusun secara paralel. Sementara itu, elektroda yang disusun secara paralel dapat menghasilkan keluaran tegangan yang lebih stabil daripada elektroda yang disusun secara seri. Elektroda yang disusun secara seri-paralel (campuran) dapat menghasilkan tegangan bernilai tinggi dan stabil (Maulan *et al.*, 2017). Selain itu, luas permukaan elektroda juga dapat mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan. Semakin luas permukaan elektroda yang bereaksi di dalam larutan elektrolit, maka semakin besar tegangan dan arus listrik yang dihasilkan (Susanto *et al.*, 2017).

Pada penelitian (Susanto *et al.*, 2017) menunjukkan bahwa elektroda pasangan tembaga-zink menghasilkan keluaran arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan elektroda pasangan tembaga-aluminium dan tembaga-galvalum. Zn

sebagai anoda merupakan bahan yang mudah melepaskan elektron dan Cu sebagai katoda merupakan bahan yang sulit melepaskan elektron sehingga kedua bahan ini merupakan pasangan elektroda yang baik untuk menghasilkan nilai tegangan dan arus yang tinggi (Jauharah, 2013). Bahan Zn juga memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan bahan aluminium dalam menghasilkan tegangan dan arus listrik (Susanto *et al.*, 2017).

#### **2.3.4 Elektrolit**

Elektrolit terdiri dari dua jenis yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit kuat merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut yang dapat mengantarkan arus listrik sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi listrik yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima elektron relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil (Harahap, 2016). Volume elektrolit dalam sebuah sel elektrokimia juga dapat mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, semakin banyak volume elektrolit yang digunakan maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan semakin besar dan begitupun sebaliknya (Yulianti *et al.*, 2017).

Jumlah elektrolit yang digunakan dalam baterai air laut mempengaruhi jumlah kuat arus listrik yang dihasilkan untuk menyalakan beban (lampu LED) karena banyaknya elektron yang bereaksi dalam sel elektrokimia. Elektrolit yang diberikan dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan *short contact* antara katoda dan anoda sehingga beban (lampu LED) menjadi redup bahkan LED yang digunakan bisa mati akibat *short contact* tersebut (Anisa & Setyaningrum, 2022). Cara kerja elektrolit untuk menghasilkan energi listrik yaitu dengan cara memberikan dua buah elektroda ke dalam larutan elektrolit, lalu larutan elektrolit akan menghasilkan ion-ion yang akan bergerak sehingga terjadi proses transfer elektron dari anoda ke katoda yang menghasilkan keluaran berupa arus dan tegangan (Yulianti *et al.*, 2017).

### 2.3.5 Korosi

Korosi adalah kerusakan atau degradasi kualitas bahan logam akibat adanya reaksi reduksi-oksidasi (redoks) antara bahan logam dengan berbagai zat yang ada di lingkungannya (Barmawi *et al.*, 2021). Korosi pada logam tidak hanya berwarna coklat, contohnya korosi pada seng berwarna putih dan korosi belerang berwarna hijau. Selain itu, korosi menyebabkan logam terasa lebih kasar ketika disentuh dan muncul bintik-bintik pada bagian tertentu (Gapsari, 2017). Laju korosi dalam air laut dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu tingginya konsentrasi garam terlarut dalam air, perubahan temperatur air laut, kandungan oksigen yang terlarut dalam air, tingkat keasaman (pH), dan adanya mikroorganisme (Juliana *et al.*, 1999). Untuk menekan laju korosi karena penggunaan air laut sebagai elektrolit dan campuran jembatan garam, maka dapat dilakukan penyaringan atau filtrasi air laut untuk menyaring mikroorganisme dan beberapa partikel padat yang ada di dalam air laut. Selain penyebab korosi dari alam, korosi juga dapat terjadi apabila dua logam yang memiliki beda potensial berada dalam lingkungan elektrolit, tidak dihubungkan, dan dapat menghasilkan aliran elektron atau listrik diantara kedua logam tersebut yang disebut sebagai korosi galvanik (Badea *et al.*, 2007).

Metode yang dapat digunakan untuk mencegah dan menghambat laju korosi yaitu menggunakan paduan untuk mengganti logam murni, melakukan pelapisan logam (organik atau anorganik) melalui elektroplating, meningkatkan desain logam untuk menghindari tekanan berlebihan dan meminimalkan lekukan pada logam, menurunkan konsentrasi larutan, menghindari penyimpanan logam dalam lingkungan dengan kadar oksigen tinggi dan membuat perlindungan elektrokimia (Kamalia *et al.*, 2018).

### 2.3.6 Elektroplating *Acid Zinc*

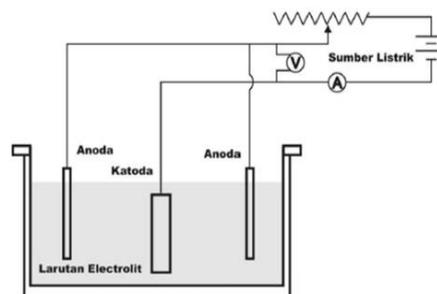
Elektroplating adalah proses pelapisan suatu logam secara elektrolisis menggunakan arus listrik searah (*direct current/DC*) yang konstan dan larutan kimia yang disebut sebagai elektrolit (Crittenden *et al.*, 2005). Elektroplating adalah juga dapat

diartikan sebagai pengendapan atau deposisi ion logam pelindung (anoda) yang dikehendaki di atas logam lain (katoda) secara elektrolisa (Budiyanto *et al.*, 2017). Pelapisan suatu logam dalam proses elektroplating harus menggunakan arus listrik searah (DC) dan larutan elektrolit. Fungsi dari arus listrik DC yaitu sebagai energi untuk perpindahan ion logam dan larutan elektrolit sebagai media penyuplai ion-ion logam yang akan membentuk endapan (lapisan) logam pada elektroda. Ion logam dapat diperoleh dari larutan elektrolit maupun dari pelarutan anoda logam di dalam elektrolit (Rasyad and Budiarto, 2018).

Proses elektroplating mencakup empat hal yaitu pembersihan, pembilasan, pelapisan, dan proteksi setelah pelapisan (Crittenden *et al.*, 2005). Dalam proses elektroplating terdapat beberapa faktor atau variabel yang berpengaruh terhadap hasil pelapisan baik berupa tebal pelapisan ataupun tingkat kecerahan permukaan lapisan diantaranya lama waktu pelapisan jarak anoda-katoda, besarnya tegangan dan kuat arus yang digunakan selama proses elektroplating. Semakin lama waktu pelapisan logam atau semakin besar tegangan dan kuat arus yang digunakan, maka semakin tebal hasil pelapisan logam (Budiyanto *et al.*, 2017). Tujuan dasar dari elektroplating yaitu untuk menghambat laju korosi dan memperbaiki kualitas permukaan dari logam induk tersebut (Ansari *et al.*, 2017).

Prinsip dasar dari elektroplating adalah menempatkan ion-ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi (induk). Untuk membuat rangkaian, anoda dihubungkan dengan kutub positif dari sumber arus listrik sehingga menghasilkan ion-ion logam yang didapatkan dari reaksi antara anoda dan elektrolit. Selanjutnya, katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Sebelumnya, pastikan anoda dan katoda direndam dalam larutan elektrolit. Saat arus listrik dialirkan, maka pada katoda akan terjadi endapan (pelapisan logam). Dengan adanya arus listrik yang mengalir dari sumber tegangan, maka elektron juga otomatis akan dialirkan melalui elektroda positif (anoda) menuju elektroda negatif (katoda). Dengan adanya ion-ion logam yang didapat dari elektrolit maka menghasilkan perpindahan logam yang melapisi permukaan logam lainnya

(Prasetyaningrum & Dharmawan, 2018). Rangkaian yang digunakan dalam proses elektroplating ditunjukkan pada **Gambar 2.5** sebagai berikut:



**Gambar 2.5** Rangkaian Proses Elektroplating (Rasyad and Budiarto, 2018)

Salah satu metode yang digunakan dalam proses elektroplating adalah *acid zinc electroplating* atau elektroplating menggunakan larutan elektrolit *acid zinc*. Dalam penelitian Ansari *et al.* (2017), metode elektroplating *acid zinc* digunakan untuk melapisi seng (Zn) pada permukaan logam *high carbon steel, cast iron, malleable iron, wrought* dan *forged iron*. Kelebihan dari penggunaan *acid zinc* ini karena dalam proses elektroplating tidak perlu dilakukan *waste treatment* karena tidak terdapat sianida di dalam larutannya dengan efisiensi 95-100%. Kelemahan dari larutan *acid zinc* ini yaitu memerlukan peralatan yang tahan terhadap korosi karena larutan elektrolit yang asam memiliki sifat sangat korosif. Larutan *acid zinc* dengan pH rendah akan meningkatkan nilai karakteristik elektrik dari sel volta daripada larutan *acid zinc* dengan pH lebih tinggi. Tetapi, penggunaan larutan *acid zinc* dengan pH rendah juga dapat meningkatkan laju korosi pada elektroda sehingga diperlukan regenerasi pada anoda ataupun katoda yang digunakan (Pauzi *et al.*, 2022).

### 2.3.7 Karakteristik Air Laut

Air laut adalah kumpulan air asin yang sangat banyak dan luas di permukaan bumi. Secara umum, derajat keasaman air laut berkisar antara pH 8,2 sampai 8,4 (Muaya *et al.*, 2015). Air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan organik dan partikel-partikel tak terlarut. Air laut memiliki kadar garam rata-rata 3,5% yang artinya dalam 1 liter (1000 ml) air laut terdapat 35 gram garam. Zat-zat garam utama yang terkandung dalam air laut yaitu klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya kurang dari 1% terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Kadar garam yang di dalam air laut dapat mempengaruhi sifat fisis air laut seperti densitas, kompresibilitas, titik beku dan temperatur (Adriani, 2020).

Sumber utama garam yang ada di laut berasal dari pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik, dan sirkulasi lubang-lubang hidrotermal (*hydrothermal vents*) di dalam laut. Air laut juga dapat bersifat agresif dan sangat merusak yang disebabkan oleh:

1. Air laut merupakan elektrolit yang memiliki sifat konduktivitas tinggi.
2. Air laut mempunyai kandungan oksigen terlarut yang tinggi sehingga dapat menyebabkan korosi pada logam.
3. Temperatur permukaan air laut umumnya tinggi.
4. Ion klorida yang terkandung pada air laut merupakan ion agresif (Muaya *et al.*, 2015).

### 2.3.8 Karakteristik Semen Murni (*Portland*)

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), semen adalah serbuk atau tepung yang terbuat dari kapur dan material lainnya yang dipakai untuk membuat beton, merekatkan batu bata ataupun membuat tembok. Semen merupakan bahan hidraulik yang dapat bereaksi secara kimia dengan air sehingga disebut hidrasi dan membentuk material batu padat (Fitri *et al.*, 2011) Berdasarkan Standar Nasional

Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif yang dapat mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat (Hargono *et al.*, 2009). Apabila semen dicampurkan dengan air, maka semen tersebut akan berubah menjadi pasta semen. Komposisi semen dalam suatu adonan (semen dan air) menentukan mutu kekuatan jembatan garam yang akan dibuat (Suryanto, 2014).

Semen dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

a. Semen Non Hidraulis

Semen non hidraulis adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak dapat stabil dalam air. Contoh semen non hidraulis adalah *lime* dimana *lime* ini merupakan perekat klasik dalam bangunan yang dengan cara memanaskan *limestone* di dalam suhu  $850^{\circ}\text{C}$ .

b. Semen Hidraulis

Semen hidraulis adalah semen yang dapat mengeras dalam air sehingga menghasilkan padatan yang stabil dalam air. Contoh semen hidraulis adalah semen murni (*portland*), semen campur, semen khusus, dan sebagainya (Setiawan *et al.*, 2017).

Karena semen *portland* termasuk dari semen jenis hidraulis, maka semen jenis ini dapat bersifat mudah mengeras bila dicampurkan dengan air, tidak larut dalam air, dan dapat mengeras walaupun menggunakan 2 macam air. Semen murni (*portland*) adalah semen yang dibuat dari campuran bahan-bahan yang mengandung kapur kemudian dibakar dengan temperatur tinggi sehingga membentuk klinker dan kemudian klinker tersebut dihaluskan hingga membentuk butiran halus (Passa and Safitri, 2021).

### 2.3.9 Karakteristik Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan salah satu jenis logam ringan polimorfi dengan berbagai struktur kristal seperti  $\beta$ -alumina,  $\gamma$ -alumina,  $\delta$ -alumina,  $\theta$ -alumina,  $\kappa$ -alumina, X-alumina, dan  $\alpha$ -alumina atau yang disebut korundum (Dianita & Pratapa, 2014). Aluminium oksida atau yang bisa juga disebut dengan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) terbagi menjadi 2 jenis yaitu alumina hidrat dan alumina anhidrat. Alumina hidrat dibuat dari bauksit, contohnya gibbsite, bayerite, boehmite, dan diaspore. Alumina anhidrat dibuat dari dehidrasi aluminium hidroksida, contohnya alpha alumina ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), gamma alumina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), delta alumina ( $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), theta alumina ( $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), kappa alumina ( $\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), dan chi alumina ( $\text{X-Al}_2\text{O}_3$ ) (Kolo, 2016).

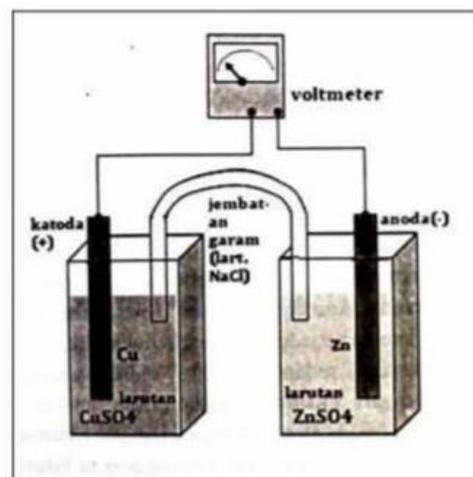
Alumina mempunyai sifat tahan terhadap asam dan basa, mempunyai material yang keras dan kuat, tahan terhadap temperatur yang tinggi sampai  $1700^\circ\text{C}$ , dan tahan terhadap korosi (Dianita & Pratapa, 2014). Ketahanan korosi pada alumina disebabkan adanya lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium (Nugroho & Ilman, 2012). Alumina biasa digunakan untuk pelapisan, sintesis, anoda korban dan *matrix composite* (Tok *et al.*, 2006). Penggunaan aluminium oksida dalam pembuatan jembatan garam dapat mempengaruhi besar keluaran yang dihasilkan suatu sistem energi terbarukan. Jadi, semakin besar konsentrasi aluminium oksida yang digunakan dalam campuran jembatan garam, maka semakin besar nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan (Parkash, 2016).

### 2.3.10 Jembatan Garam

Jembatan garam merupakan tabung U yang berisi garam  $\text{NaCl}$  dan campuran bahan lainnya yang digunakan untuk menghubungkan dua buah logam yang berada pada wadah yang berbeda (Haq *et al.*, 2018). Jembatan garam berfungsi untuk menjaga kenetralan muatan listrik pada larutan. Oleh karena itu, konsentrasi larutan elektrolit pada jembatan garam sebaiknya lebih tinggi daripada konsentrasi elektrolit di kedua bagian elektroda yang digunakan. Adanya jembatan garam

menyebabkan adanya pertemuan cairan elektrolit yang menyebabkan munculnya beda potensial pada perbatasan di kedua cairan elektrolit (Sartono *et al.*, 2014).

Di dalam sel elektrokimia, jembatan garam digunakan untuk memastikan arus listrik tetap mengalir di dalam sel dan terhubung secara elektrik antara sel anoda dan katoda. Hal tersebut dapat menyebabkan defisiensi muatan negatif pada sel anoda sehingga ion-ion negatif akan keluar menuju sel anoda. Pada daerah sel katoda juga terjadi defisiensi muatan positif sehingga ion-ion positif akan keluar dari jembatan garam menuju katoda (Rahmawati, 2013). Skema penggunaan jembatan garam di dalam sel elektrokimia ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Rangkaian Sel Elektrokimia dengan Jembatan Garam (Rahmawati, 2013)

Mekanisme kerja dari jembatan garam ini yaitu elektron-elektron yang berada di dalam elektrolit akan mengalir melalui kawat dari anoda melalui sikuit eksternal menuju katoda. Arus listrik yang dihasilkan oleh jembatan garam merupakan hasil dari penjumlahan aliran kation dan anion sel elektrokimia (Rahmawati, 2013).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di Ruang Workshop Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Waktu penelitian dilaksanakan pada Februari 2023 sampai Mei 2023.

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan **Tabel 3.1** sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1.	<i>Cutter</i> Akrilik	Memotong akrilik
2.	Gunting	Memotong kawat kasa
3.	Timbangan Digital	Menimbang massa bahan jembatan garam dan massa elektroda
4.	Bejana/baskom	Wadah adonan jembatan garam
5.	Filter air	Menyaring air laut
6.	Gelas Baker	Mengukur volume air laut
7.	<i>Power Supply</i>	Sumber tegangan saat elektroplating
8.	Multimeter	Mengukur arus, tegangan, dan hambatan
9.	<i>Stopwatch</i>	Mencatat waktu
10.	Kamera	Mengambil dokumentasi saat penelitian
11.	Kabel Penghubung	Menghubungkan elektroda
12.	<i>Lux Meter</i>	Mengukur intensitas cahaya lampu

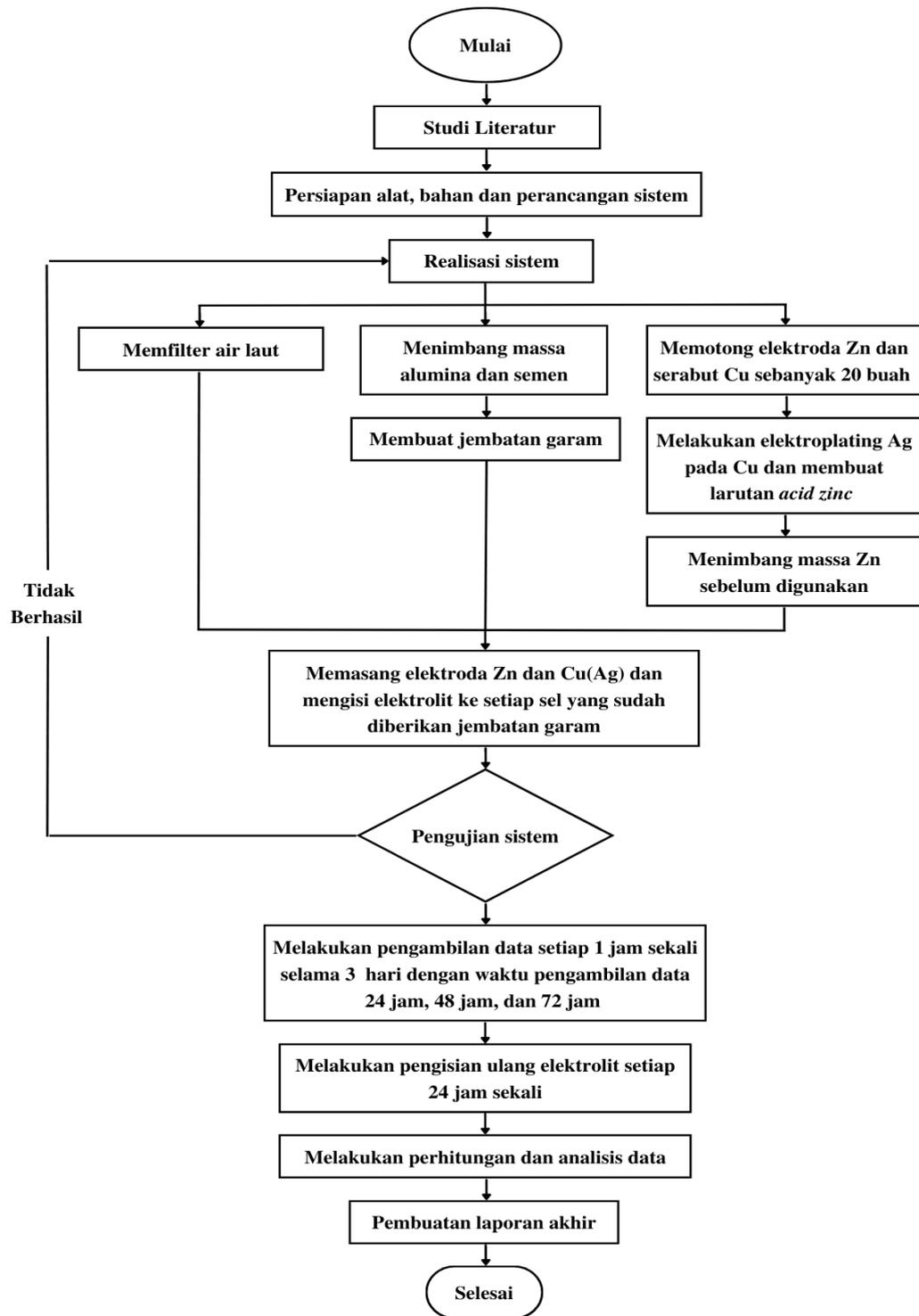
Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan **Tabel 3.2** sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Fungsi
1.	Akrilik	Sebagai wadah sel volta
2.	Air Laut	Sebagai elektrolit dan katolid
3.	Serabut Cu (120 cm)	Sebagai katoda
4.	Lempengan Zn (4×7×0,002 cm)	Sebagai anoda
5.	Larutan AgNO <sub>3</sub>	Sebagai larutan elektrolit pada proses elektroplating Cu(Ag)
6.	Larutan HNO <sub>3</sub> 1%	Sebagai pembersih logam Cu sebelum proses elektroplating
7.	Etanol 96%	Sebagai pembersih logam Cu setelah dibersihkan dengan larutan HNO <sub>3</sub>
8.	Karbon	Sebagai anoda dalam proses elektroplating Cu(Ag)
9.	NH <sub>4</sub> Cl dan ZnCl <sub>2</sub>	Untuk membuat larutan <i>acid zinc</i>
10.	Aquades	Untuk mengencerkan larutan sepuh dan larutan <i>acid zinc</i>
11.	Kertas pH universal	Untuk mengecek pH larutan
12.	Kawat Kasa	Sebagai penyangga di dalam jembatan garam
13.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan semen putih baturaja	Untuk membuat adonan jembatan garam
14.	Lampu LED	Sebagai beban untuk menguji keluaran yang dihasilkan
15.	Plastik Wrap	Untuk membungkus jembatan garam
16.	Alat Tulis	Untuk mencatat data pengamatan
17.	Lem Korea dan Lem Dextone	Untuk merekatkan wadah sel volta berbahan akrilik

### 3.3 Prosedur Penelitian

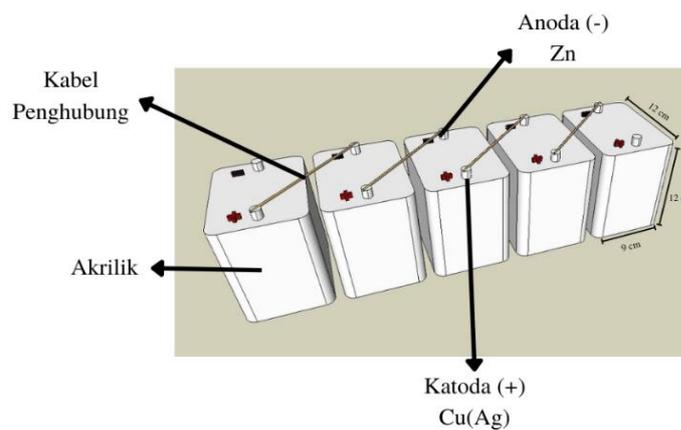
Penelitian ini terbagi menjadi 5 tahap yaitu tahap perancangan dan pembuatan sistem energi terbarukan, tahap pembuatan jembatan garam, tahap elektroplating Cu(Ag), tahap pembuatan larutan *acid zinc*, dan terakhir yaitu tahap pengujian alat dan pengambilan data. Secara umum, prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



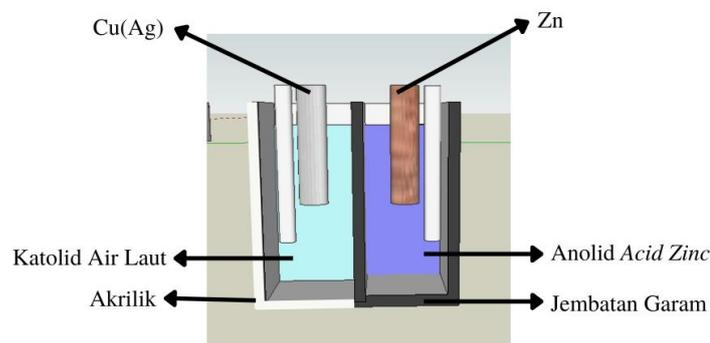
**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Energi Terbarukan

Tahap pertama dari penelitian ini yaitu membuat rancangan dan sistem energi terbarukan berupa sel volta yang tersusun dari 20 buah sel berbahan akrilik. Setiap sel memiliki panjang sebesar 12 cm, lebar sebesar 9 cm, dan tinggi sebesar 12 cm. Desain sel volta pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.2** Desain 5 Sel Volta (Bagian Luar)



**Gambar 3.3** Desain Sel Volta (Bagian Dalam)

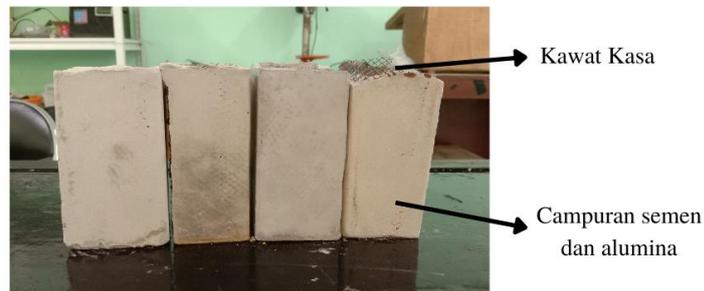
Tujuan dari desain jembatan garam yang berbentuk seperti “bak” tersebut yaitu untuk mengurangi tingkat kebocoran larutan elektrolit yang ada di dalamnya. Setiap sel volta berisi sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn yang dibatasi oleh sebuah jembatan

garam. Jembatan garam ini terbuat dari campuran semen putih baturaja dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida/alumina) yang dilarutkan dengan air laut. Jembatan garam yang digunakan dalam penelitian ini dibuat dalam empat variasi massa perbandingan antara  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan semen yaitu 100:100, 150:100, 200:100, dan 250:100. Elektroda yang digunakan pada setiap sel volta yaitu 120 cm untuk serabut Cu dan  $4 \times 7 \times 0,02$  cm untuk lempengan Zn. Elektrolit yang digunakan pada setiap sel volta yaitu air laut yang sudah disaring menggunakan filter air sehingga tidak ada kotoran ataupun organisme yang tercampur di dalam air laut tersebut sebagai katolid dan larutan *acid zinc* dengan konsentrasi pH 4 sebagai anolid. Katolid yang digunakan katoda Cu(Ag) berisi  $\pm 250$  ml air laut dan anolid yang digunakan anoda Zn berisi  $\pm 200$  ml larutan *acid zinc*. Elektrolit yang digunakan pada setiap sel diganti setiap 24 jam sekali untuk melihat pengaruh besar keluaran yang dihasilkan pada setiap sel volta dengan berbagai variasi.

### 3.3.2 Pembuatan Jembatan Garam

Tahap kedua dari penelitian ini yaitu membuat jembatan garam. Jembatan garam dibuat dari campuran semen putih baturaja +  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida/alumina) + air laut dengan 4 variasi massa  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Perbandingan variasi massa antara  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan semen yaitu 100:100, 150:100, 200:100, dan 250:100. Prosedur pembuatan jembatan garam terdiri dari tiga langkah. Langkah pertama yaitu menimbang massa bahan yang akan digunakan dalam empat variasi massa alumina dan massa semen konstan. Variasi pertama yaitu menimbang  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 100 gram dan semen sebesar 100 gram, variasi kedua yaitu menimbang  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 150 gram dan semen sebesar 100 gram, variasi ketiga yaitu menimbang  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 200 gram dan semen sebesar 100 gram, dan variasi keempat yaitu menimbang  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 250 gram dan semen sebesar 100 gram. Langkah kedua yaitu mencampurkan air laut,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan semen sesuai dengan variasi yang telah ditentukan, kemudian ketiga bahan tersebut diaduk hingga rata sampai adonan mencapai kekentalan yang diperlukan. Langkah terakhir yaitu mencetak adonan jembatan garam tersebut ke

dalam cetakan - cetakan sel yang telah dibuat dari akrilik. Setelah itu, jembatan garam dikeringkan selama  $\pm 3$  hari sampai mengeras. Jembatan garam yang telah jadi ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Jembatan Garam

### 3.3.3 Proses Elektroplating Ag pada Cu

Tahap ketiga dari penelitian ini yaitu melakukan proses elektroplating Ag pada Cu dengan menggunakan larutan sepuh perak ( $\text{AgNO}_3$ ) sebanyak 100 ml dan aquades sebanyak 900 ml. Katoda yang digunakan dalam proses ini adalah serabut Cu dan anoda yang digunakan adalah batang karbon. Sebelum proses elektroplating, serabut Cu dibersihkan terlebih dahulu dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1%. Setelah dibersihkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$ , serabut Cu dibersihkan kembali menggunakan etanol 96%. Proses elektroplating ini dilakukan dengan tegangan sebesar 2 volt selama 5 menit. Tegangan yang diberikan berasal dari *power supply*.

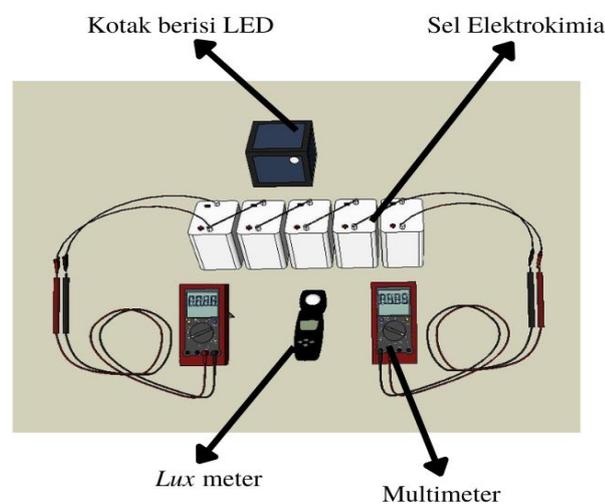
### 3.3.4 Pembuatan Larutan *Acid Zinc*

Tahap keempat dari penelitian ini yaitu membuat larutan *acid zinc* dengan cara mencampurkan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (ammonium klorida) sebanyak 27 gram dan  $\text{ZnCl}_2$  (zinc klorida) sebanyak 68 gram dengan aquades sebanyak 1 liter sehingga menghasilkan larutan dengan pH 5. Dalam penelitian ini, digunakan larutan dengan variasi pH 4 sehingga pH larutan harus diturunkan menggunakan larutan HCl (asam klorida)

untuk menghasilkan larutan *acid zinc* dengan pH 4. Untuk mengecek pH pada larutan dapat menggunakan kertas pH universal.

### 3.3.5 Pengujian Alat dan Pengambilan Data

Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu melakukan pengujian alat dan pengambilan data. Pengujian alat dilakukan untuk melihat keluaran yang dihasilkan dari sel elektrokimia dan regenerasi dari anoda Zn. Prosedur yang dilakukan untuk melihat keluaran dari sel elektrokimia yaitu dengan menghubungkan jembatan garam yang telah terpasang pada sel volta ke multimeter yang telah dihubungkan dengan beban 20 lampu LED. Lampu LED yang digunakan diletakkan dalam tempat tertutup untuk menghindari gangguan cahaya dari luar saat pengambilan data penelitian. Data yang akan diambil dalam penelitian ini yaitu besar tegangan saat beban dipasang ( $V_b$ ), besar tegangan saat beban dilepaskan ( $V_{bL}$ ), kuat arus listrik yang dihasilkan ( $I$ ), dan intensitas cahaya (*lux*) yang dihasilkan dari 20 lampu LED. Instrumen penelitian yang digunakan untuk mengambil data yaitu multimeter, *lux meter*, dan *stopwatch*. Data pengamatan diambil setiap 1 jam sekali selama 6 hari dengan pembagian waktu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam berturut – turut. Desain pengujian alat ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



**Gambar 3.5** Desain Pengujian Sel Volta

Prosedur yang dilakukan untuk melihat regenerasi anoda Zn yaitu dengan cara menghubungkan *power supply* ke plat anoda Zn yang telah digunakan selama 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Kutub positif pada *power supply* dihubungkan ke plat anoda Zn dan kutub negatif pada *power supply* dihubungkan ke jembatan garam.

Data pengamatan yang diambil berupa massa elektroda Zn sebelum elektroplating dan sesudah elektroplating. Setelah pengambilan data, dilakukan perhitungan untuk menghitung laju korosi elektroda (logam) dengan metode kehilangan massa pada **Persamaan 3.1** (Jones, 1996).

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

Keterangan :

$r$  = laju korosi (mm/year) ;  $\rho$  = densitas (gr/cm<sup>3</sup>)  
 $K$  = konstanta ( $8,76 \times 10^4$ ) ;  $A$  = luas permukaan (cm<sup>2</sup>)  
 $m = m_0 - m_1$  = massa awal – massa akhir (gr) ;  $t$  = waktu (jam)

Selain menghitung laju korosi elektroda (logam), dilakukan perhitungan konduktivitas jembatan garam dengan hambatan ( $R_{in}$ ) pada **Persamaan 3.2** dan daya ( $P$ ) pada **Persamaan 3.3**.

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

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

Keterangan :

$R_{in}$  = hambatan (k $\Omega$ );  
 $V_{bL}$  = tegangan tanpa beban (V);  
 $V_b$  = tegangan dengan beban (V);  
 $I$  = kuat arus listrik (A);  
 $P$  = daya (Watt);

Rancangan data pengamatan dan hasil perhitungan dari hasil penelitian ini akan disajikan pada **Tabel 3.3** sampai dengan **Tabel 3.8**.

Rancangan data pengamatan dan hasil perhitungan dari hasil penelitian ini akan disajikan pada **Tabel 3.3** sampai dengan **Tabel 3.8**.

**Tabel 3.3** Data Pengamatan Karakteristik Elektrolit Air Laut

Variasi Jembatan Garam (Semen:Alumina)	Waktu (jam)	Tegangan tanpa beban ( $V_{bL}$ )	Tegangan dengan beban ( $V_b$ )	Kuat arus listrik (mA)	Intensitas cahaya ( $lux$ )
1:1	0				
	..				
1:1,5	0				
	..				
1:2	0				
	..				
1:2,5	0				
	..				

**Tabel 3.4** Hasil Perhitungan Karakteristik Elektrik Air Laut

Waktu (jam)	Variasi Jembatan Garam (Semen:Alumina)							
	1:1		1:1,5		1:2		1:2,5	
	$R_{in}$ (k $\Omega$ )	Daya (mW)	$R_{in}$ (k $\Omega$ )	Daya (mW)	$R_{in}$ (k $\Omega$ )	Daya (mW)	$R_{in}$ (k $\Omega$ )	Daya (mW)
0								
1								
2								
...								
72								

**Tabel 3.5** Tegangan Tanpa Beban ( $V_{bL}$ ) Sel Volta Semua Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari

Keterangan	Tegangan ( $V_{bL}$ ) Variasi Jembatan Garam (V)			
	1:1	1:1,5	1:2	1:2,5
Rata – rata 24 jam				
Rata – rata 48 jam				
Rata – rata 72 jam				
Rata – rata sistem				

**Tabel 3.6** Arus Sel Volta Semua Variasi Jembatan Garam Selama 3 Hari

Keterangan	Arus (mA) Variasi Jembatan Garam			
	1:1	1:1,5	1:2	1:2,5
Rata – rata 24 jam				
Rata – rata 48 jam				
Rata – rata 72 jam				
Rata – rata sistem				

**Tabel 3.7** Hasil Perhitungan Kehilangan Massa pada Korosi Zn

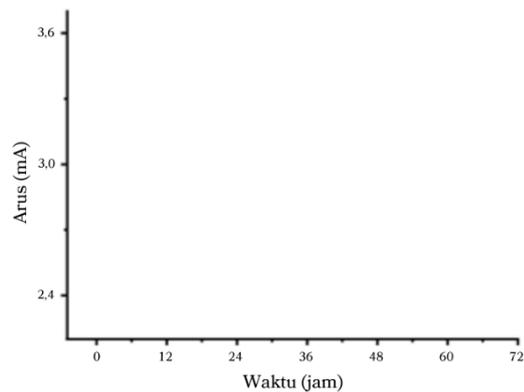
Variasi Jembatan Garam (Semen:Alumina)	Elektroda ke-	Hasil Penimbangan Massa Zn		Kehilangan Massa Zn ( $\Delta m$ ) (g)
		Massa sebelum digunakan ( $m_0$ ) (g)	Massa sesudah digunakan ( $m_1$ ) (g)	
		1:1	1	
	..			
1:1,5	6			
	..			
1:2	11			
	..			
1:2,5	16			
	..			

**Tabel 3.8** Hasil Perhitungan Laju Korosi Zn Menggunakan Larutan *Acid Zinc* pH 4 dengan Semua Variasi Massa Jembatan Garam

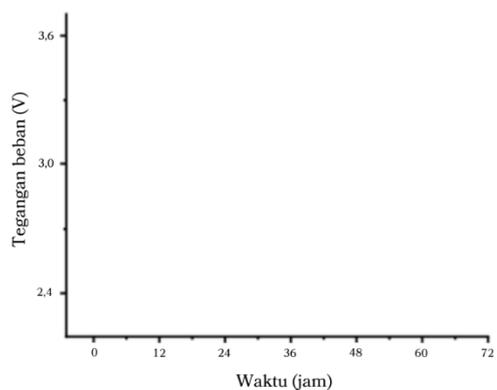
Variasi Jembatan Garam (Semen:Alumina)	Elektroda ke-	$K$	$\Delta m$ (gram)	$\rho$ (gr/cm <sup>2</sup> )	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$T$ (jam)	$r$ (mm/year)
1:1	1						
	..						
1:1,5	6						
	..						
1:2	11						
	..						
1:2,5	16						
	..						
<b>Rata – rata</b>							

### 3.4 Metode Analisis Data

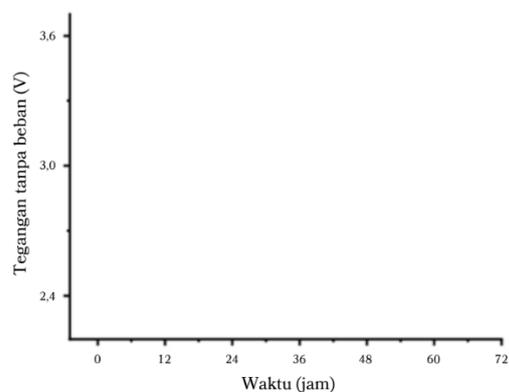
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif, metode eksperimen, dan metode sel volta. Analisis data dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan, arus, intensitas cahaya dan daya terhadap waktu. Pengambilan data penelitian membutuhkan waktu selama 3 hari dengan pembagian waktu yaitu 24 jam, 48 jam, dan 72 jam dimana setiap 1 jam sekali dilakukan pengambilan data. Hasil pengambilan data dan perhitungan yang diperoleh kemudian digambarkan ke dalam grafik – grafik dengan rancangan analisis data yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6** sampai **Gambar 3.8**.



**Gambar 3.6** Grafik Pengukuran Arus

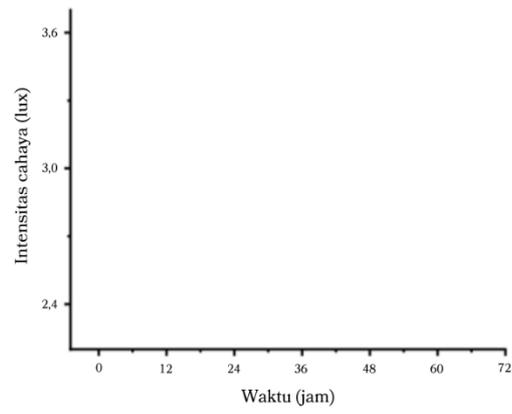


(a)



(b)

**Gambar 3. 7** (a) Grafik Pengukuran Tegangan Beban Sel Volta;  
(b) Grafik Pengukuran Tegangan Tanpa Beban Sel Volta.



**Gambar 3.8** Grafik Intensitas Cahaya

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Karakteristik elektrik berupa tegangan tanpa beban ( $V_{bL}$ ) dan tegangan dengan beban ( $V_b$ ) paling tinggi dan paling stabil dihasilkan oleh sel volta dengan variasi jembatan garam 1:1 (semen:alumina).
2. Sel volta dengan variasi jembatan garam 1:2 menghasilkan nilai rata-rata sistem berupa kuat arus, intensitas cahaya dan daya paling tinggi dibandingkan sel volta dengan variasi 1:1, 1:1,5 dan 1:2,5
3. Nilai hambatan rata-rata sistem paling tinggi dihasilkan oleh sel volta dengan variasi jembatan garam 1:1,5 sebesar 1,54 k $\Omega$ .
4. Komposisi alumina pada jembatan garam tidak mempengaruhi laju korosi yang dihasilkan anoda Zn.

### 5.2 Saran

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

1. Memperbanyak variasi jembatan garam untuk mengurangi kelemahan dari alumina terhadap faktor-faktor di dalam maupun di luar sel volta sehingga dapat menghasilkan nilai elektrik maksimum dan laju korosi minimum.
2. Memperbanyak variasi waktu pengamatan untuk mengetahui durasi pemakaian sel volta untuk menghasilkan listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriani. (2020). Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik. *Vertex Elektro*, 12(02), 22–33.
- Anisa, Z., & Setyaningrum, D. (2022). Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Baterai Dengan Elektroda Tembaga – Aluminium. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), 156–162. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v19i2.9583>
- Ansari, I., Indrawijaya, B., Nurohmawati, F., & Zakaria, I. (2017). Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan Terhadap Ketebalan Produk pada Elektroplating Acid Zinc. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 1(1), 1–7.
- Arizal, F., Hasbi, M., & Kadir, A. (2017). Pengaruh Kadar Garam Terhadap Daya yang Dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Air Garam Sebagai Energi Alternatif Terbaru. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 2(1), 1–5.
- Badea, G. E., Corbu, I., Caraban, A., & Cret, P. (2007). Seawater Electrolysis for Hydrogen Production. *Reveu Roumaine de Chimie*, 54(1), 16–19.
- Barmawi, N., Sultan, M. A., & Abbas, M. Y. H. (2021). Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Daun Tembakau Sebagai Inhibitor pada Tulangan Beton Bertulang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(1), 16–21.
- Brilliantoro, B. (2022). Studi Pengendalian Korosi menggunakan Coating Zinc (Zn), Zinc Phosphate ( $Zn_3(PO_4)_2$ ), Zinc Silicate ( $ZnSiO_4$ ) dan Nickel (Ni) pada Industri Otomotif. *JIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 5(6), 1878–1885. <https://doi.org/10.54371/jiip.v5i6.658>
- Budiyanto, E., Setiawan, D. A., Supriadi, H., & Ridhuan, K. (2017). Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Efisiensi Katoda Baja Aisi 1020. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 21–29. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.115>
- Chang, R. (2003). *General Chemistry: The Essential Concepts*. Jakarta: Erlangga.

- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. ., & Tchobanoglous, G. (2005). *Water Treatment-Principles and Design (2nd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Dianita, W., & Pratapa, S. (2014). Identifikasi Fasa pada Sintesis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 3(2), 22–23.
- Diantari, R. A., Erlina, & Widyastuti, C. (2018). Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS. *Jurnal Ilmiah Energi & Kelistrikan*, 9(2), 120–125. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.48>
- Dogra, S. (1990). *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Universitas Indonesia.
- Fang, L. H., Hassan, S. I. S., Abd Rahim, R. Bin, & Abd Malek, M. F. (2016). A Study of Vibration Energy Harvester. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(8), 5028–5041.
- Fitri, A., Hasan, Z. A., & Ghani, A. A. (2011). Determining the Effectiveness of Harapan Lake as Flood Retention Pond in Flood Mitigation Effort. *In Proceedings of 2011 4th International Conference on Environmental and Computer Science (ICECS 2011)*., 19, 186–192.
- Gabriel, J. F. (1996). *Fisika Kedokteran*. Kedokteran EGC.
- Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi* (1st ed.). University of Brawijaya Press.
- Güell, R., Aragay, G., Fontàs, C., Anticó, E., & Merkoçi, A. (2008). Sensitive and Stable Monitoring of Lead and Cadmium in Seawater Using Screen-Printed Electrode and Electrochemical Stripping Analysis. *Journal of Nanobioelektronics & Biosensors Group*, 219–224.
- Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B. (2016). Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM. *JTT: Jurnal Teknologi Terpadu*, 4(2), 130. <https://doi.org/10.32487/jtt.v4i2.175>
- Haq, S. Z. N., Kurniawan, E., & Ramdhani, M. (2018). Analisis Pembangkit Elektrik Menggunakan Media Air Garam. *E-Proceeding of Engineering*, 5(3), 3823–3830.
- Harahap, M. R. (2016). Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 177–180. <https://doi.org/10.22373/crc.v2i1.764>

- Hargono, Jaeni, M., & Budi, F. S. (2009). Pengaruh Perbandingan Semen Pozolan Dan Semen Portland Terhadap Kekekalan Bentuk dan Kuat Tekan Semen. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(2), 21–25.
- Hendri, Y. N., Gusnedi, & Ratnawulan. (2015). Pengaruh Jenis Kulit Pisang dan Variasi Waktu Fermentasi Terhadap Kelistrikan dari Sel Accu dengan Menggunakan Larutan Kulit Pisang. *Pillar of Physics*, 6, 97–104.
- Irsan, Supriyanto, A., & Surtono, A. (2017). Analisis Karakteristik Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan Untuk Mengisi Baterai Handphone. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 9–18.
- Jannert, E., Pauzi, G. A., & Supriyanto, A. (2018). Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Tersaring Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energy). *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(2), 257–263. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v6i2.1915>
- Jauharah, W. D. (2013). *Analisis Kelistrikan Yang Dihasilkan Limbah Buah Dan Sayuran Sebagai Energi Alternatif Bio-Baterai*. Universitas Jember.
- Jones, D. A. (1996). Principles and Prevention of Corrosion (Second Edition). In *Encephale* (Vol. 53, Issue 1). Prentice Hall.
- Juliana Anggono, & Soejono Tjitro. (1999). Studi Perbandingan Kinerja Anoda Korban Paduan Aluminium dengan Paduan Seng dalam Lingkungan Air Laut. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 89–99.
- Kamalia, L., Pauzi, G. A., & Suciwati, S. W. (2018). Analisis Laju Korosi Elektrode Bahan Cu - Zn dengan Metode Sacrificial Anode pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(2), 249–256. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v6i2.1850>
- Kolo, M. M. (2016). *Sintesis Nanopartikel Aluminium Oksida dengan Metode Elektrokimia*. Institut Teknologi Sumatera.
- Liu, S., Sun, H., Zhang, N., & Sun, L. (2013). The Corrosion Performance of Galvanized Steel in Closed Rusty Seawater. *International Journal of Corrosion*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/267353>
- Malau, N. D., & Sianturi, M. (2017). Analisa Jembatan Garam Untuk Meningkatkan Kestabilan Termal Enzim Xilanase *Aspergillus Niger*. *Jurnal Edumatsains*, 1(2).

- Masnur. (2021). Aplikasi Sistem Pengendali Energi Listrik Menggunakan Raspberry Pada Smart Building. *Jurnal Sintaks Logika*, 1(2), 103–106. <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/sylog/article/view/849/705>
- Maulan, A., Randi, D. A., Winandar, D. G., & Maghfiroh, A. N. (2017). Pemanfaatan Air Laut sebagai Media Penyuplai Kebutuhan Listrik Kapal. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*, 5, 1–7.
- Melyna, E., Nisa, K. S., Aurel, A., & Fitri, L. (2023). Pengaruh Penambahan Serbuk Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pada Komposit Serat Kayu Jati Bermatriks Polipropilena. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(2), 62–70.
- Muaya, G. S., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). Pengaruh Terendahnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562–570.
- Muhammad Julian Passa, R., & Safitri, D. (2021). Waktu Pengikat Semen Portland (Konsistensi Normal) dengan Alat Vicat. *Jurnal Ilmu Teknik*, 1(3), 1–13.
- Mulyani, D., & Hartono, D. (2018). Pengaruh Efisiensi Energi Listrik pada Sektor Industri dan Komersial terhadap Permintaan Listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, 11(1). <https://doi.org/10.24843/jekt.2018.v11.i01.p01>
- Mulyono, P. R. (2017). Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal pada Pipa Baja Api 5L Grade B dengan Variasi Jumlah Coating yang Dipasang di Dalam Tanah. In *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugroho, F., & Ilman, M. N. (2012). Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Anodizing Terhadap Ketebalan Lapisan Aluminium Oksida pada Aluminium Paduan AA 2024-T3. *Jurnal Foundry*, 2(2), 21–27.
- Nurbani, M. P. (2018). *Analisa Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi Baja S45c Hasil Galvanisasi Celup Panas dengan Metode Kehilangan Berat*. Universitas Trisakti.
- Pangestu, S. S., Pauzi, G. A., & Suciwati, S. W. (2018). Analisis Laju Korosi pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(2), 249–256.

- Parkash, A. (2016). Characterization of Generated Voltage, Current, Power and Power Density from Cow Dung Using Double Chambered Microbial Fuel Cell. *Journal of Physical Chemistry & Biophysics*, 6(2). <https://doi.org/10.4172/2161-0398.1000208>
- Pauzi, G. A., Anwar, S., Supriyanto, A., & 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. <https://doi.org/10.23960/jemit.v2i4.75>
- Pauzi, G. A., Arwaditha, R. K., Supriyanto, A., Suciwati, W. S., Surtono, A., Junaidi, & Warsito. (2018). Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut dengan Penambahan Sodium Bicarbonate (NaHCO<sub>3</sub>) sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Fisika*, 8(2), 78–85. <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jf/index%0ADesain>
- Pauzi, G. A., Hudaya, E., Supriyanto, A., Warsito, & Surtono, A. (2016). Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbaru. *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika Dan Aplikasinya IV*, 4(Buku 3), 1–8. <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Pauzi, G. A., Nisa, M. A., Samosir, A. S., Sulistiyanti, S. R., & Simanjuntak, W. (2020). Peningkatan Karakteristik Listrik Sel Elektrokimia Cu(Ag)-Zn dengan Penggunaan Anoda Tumbal Mg pada Accumulator Berbahan Air Laut. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 8(1), 83–92. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v8i1.2448>
- Pauzi, G. A., Pratiwi, N. A., Surtono, A., & Suciwati, S. W. (2022). Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan Acid Zinc Pada Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn. *Journal of Energy, Material, and Instrumentation Technology (JEMIT)*, 3(1), 21–30. <http://jemit.fmipa.unila.ac.id/>
- Prasetyaningrum, A., & Dharmawan, Y. (2018). Aplikasi Teknologi Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Sebagai Upaya Menghasilkan Produksi Kerajinan Logam Berbasis Green Technology. *Jurnal Riptek*, 12(1), 37–44.
- Rahmawati, F. (2013). *Elektrokimia Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Rasyad, A., & Budiarto, B. (2018). Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 173–182. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.4>
- Revie, R. W., & Uhlig, H. H. (2008). Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition. In *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering: Fourth Edition*. <https://doi.org/10.1002/9780470277270>
- Riyanto. (2013). *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Samsudin, & Yohannes. (2019). Karakteristik Media Konduktor Pada Pemanfaatan Air. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 16–22.
- Sani, A., & Prasetya, D. A. (2018). *Analisa Baterai Air Asin dengan Elektroda Tembaga dan Aluminium*. Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Santika, J. (2022). *Analisis Pemanfaatan Jembatan Garam Tiga Variasi Campuran Alumina, Karbon dan Semen Perbandingan 50:5:100, 100:5:100, 150:5:100 Pada Sistem Sel Volta Dengan Larutan Acid Zinc pH 4 dan Elektroda Cu(Ag)-Zn Berbahan Elektrolit Air Laut*. Universitas Lampung.
- Sartono, M., Noviana, V., Maemunah, S., & Lubis, N. (2014). Pengaruh Jembatan Garam KCl dan Buah Terhadap Voltase Yang Dihasilkan Sel Galvani. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1(1).
- Setiawan, R., Lestari, F., & Pratiwi, D. (2017). Pengaruh Sulfat pada Kekuatan Beton yang Menggunakan Limbah Batu Bara sebagai Bahan Pengganti Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2).
- Sidiq, M. F. (2013). Analisa Korosi dan Pengendaliannya. *Jurnal Foundry*, 3(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/s0026-0576\(02\)80201-x](https://doi.org/10.1016/s0026-0576(02)80201-x)
- Sitorus, E., Taufiq, N., Pramita, A., Sugrani, A., Suhirman, Asnawi, I., Hevira, L., Palupi, I. F. J., & Budirohmi, A. (2023). *Elektrokimia*. PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Supomo, H. (2003). *Buku Ajar Korosi*. Jurusan Teknik Perkapalan ITS.

- Suryanto, S. (2014). Pengaruh Semen Komposit Pada Beton Mutu Tinggi Dengan Berbagai Aditif. *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, 8(1), 77. <https://doi.org/10.33795/prokons.v8i1.60>
- Susanto, A., Baskoro, M. S., Wisudo, S. H., Riyanto, M., & Purwangka, F. (2017). Performance of Zn-Cu and Al-Cu Electrodes in Seawater Battery at Different Distance and Surface Area. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(1), 298–303. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v7i1.5506.g7018>
- Tok, A. I. Y., Boey, F. Y. C., & Zhao, X. L. (2006). Novel Synthesis of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nano-Particles by Flame Spray Pyrolysis. *Journal of Materials Processing Technology*, 1, 270–273.
- Trethewey, K. R., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Utomo, B. (2009). Jenis Korosi dan Penanggulangannya. *Kapal*, 6(2), 138–141.
- Wicaksono, D., Bhakti, T. L., Taruno, R. B., Subroto, M. R. S., & Mustikasari, A. (2021). A galvanic-based dissolved oxygen level monitoring sensor system in freshwater ponds. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(2), 83–89. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2021.13996>
- Yuliansyah, M. I., Pauzi, G. A., & Warsito, W. (2020). Desain dan Modifikasi Sistem Elektrolit Air Laut Dengan Penambahan Bahan Alumina. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 8(1), 17–24. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v8i1.2303>
- Yulianti, D., Supriyanto, A., & Pauzi, G. A. (2017). Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 5(1), 49–57.
- Yuningsih, A., & Masduki, A. (2011). Potensi Energi Arus Laut untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 3(1), 13–25.
- Zulkarnain, H., & Simanjuntak, M. (2023). Resistivitas dan Indeks Polarisasi Minyak Transformator Bekas dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Prosiding Seminar Nasional Teknik UISU (SEMNASTEK)*, 2(6), 129–133. <https://doi.org/2987-6818>