

**PENGARUH WAKTU REGENERASI ELEKTRODA Zn PADA SEL  
ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN SEPARATOR ALUMINA-  
CARBON DAN SEMEN MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC* pH 4**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**DIAH FAUZIAH  
2117041073**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2025**

## ABSTRAK

### **PENGARUH WAKTU REGENERASI ELEKTRODA Zn PADA SEL ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN SEPARATOR ALUMINA-CARBON DAN SEMEN MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC* pH 4**

Oleh

**DIAH FAUZIAH**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh waktu regenerasi elektroda Zn pada sel elektrokimia dengan separator alumina-*carbon* dan semen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4. Sel galvanik yang digunakan yaitu 20 sel akrilik dan 20 separator, komposisi massa separator terdiri dari 150 gram alumina, 5 gram *carbon* dan 100 gram semen dengan anolid *acid zinc* pH 4 200 mL, katodik air laut salinitas ‰ 100 mL. Pengambilan data pada sel galvanik dilakukan setiap 30 menit sekali selama 24 jam dengan pergantian air laut 1 jam secara manual. Karakteristik elektrik yang dihasilkan sel galvanik dengan menggunakan beban LED (20 buah) dan tanpa menggunakan beban LED (20 buah) yaitu tegangan, arus, intensitas cahaya, hambatan. Proses *discharging* yang dihasilkan anoda Zn dilihat dari massa kehilangan anoda selama pemakaian maka dilakukan regenerasi terhadap elektroda Zn. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan larutan *acid zinc* berpengaruh terhadap uji karakteristik elektrik memiliki arus tertinggi pada 30 menit pertama sebesar 10,8 Ma dan regenerasi elektroda Zn berhasil regenerasi sempurna terjadi pada menit ke-10 secara konstan yaitu kembali ke massa awal sebesar 6 gram.

**Kata Kunci:** Elektroda, Sel Galvani, Regenerasi, Separator, *Acid Zinc*

## **ABSTRACT**

### ***EFFECT OF Zn ELECTRODE REGENERATION TIME ON SEAWATER ELECTROCHEMICAL CELLS WITH ALUMINA-CARBON AND CEMENT SEPARATORS USING ANOLID ACID ZINC pH 4***

**By**

**DIAH FAUZIAH**

*This study was conducted to analyze the effect of Zn electrode regeneration time on electrochemical cells with alumina-carbon separators and cement using anolid acid zinc pH 4. The galvanized cells used are 20 acrylic cells and 20 separators, the mass composition of the separator consists of 150 grams of alumina, 5 grams of carbon and 100 grams of cement with anolid acid zinc pH 4 200 mL, seawater catholid salinity ‰ 100 mL. Data collection on galvanized cells is carried out every 30 minutes for 24 hours with a 1-hour seawater change manually. The electrical characteristics produced by galvanized cells using LED loads (20 pieces) and without using LED loads (20 pieces) are voltage, current, light intensity, resistance. The discharging process produced by the Zn anode is seen from the anode loss mass during wearing, then regeneration of the Zn electrode. Based on the results of the study, it can be concluded that the use of zinc acid solution has an effect on the electrical characteristics test had the highest current in the first 30 minutes of 10.8 Ma and the regeneration of the Zn electrode succeeded in complete regeneration occurred in the 10th minute constantly, i.e. the return to the initial mass of 6 grams.*

**Keywords:** *Electrode, Galvanized Cell, Regeneration, Separators, Zinc Acid*

**PENGARUH WAKTU REGENERASI ELEKTRODA Zn PADA SEL  
ELEKTROKIMIA AIR LAUT DENGAN SEPARATOR ALUMINA-  
CARBON DAN SEMEN MENGGUNAKAN ANOLID *ACID ZINC* pH 4**

**Oleh**

**DIAH FAUZIAH**

**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  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

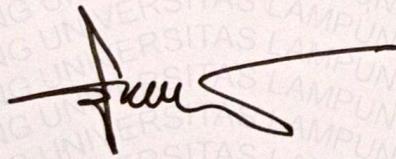
Judul : Pengaruh Waktu Regenerasi Elektroda Zn Pada Sel  
Elektrokimia Air Laut Dengan Separator Alumina-  
Carbon Dan Semen Menggunakan Anolid Acid

Zinc pH 4

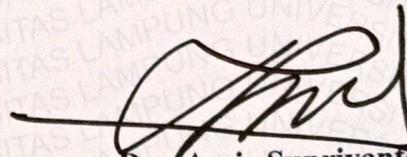
Nama Mahasiswa : **Diah Fauziah**  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041073  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

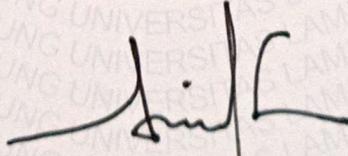


**Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002



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

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA



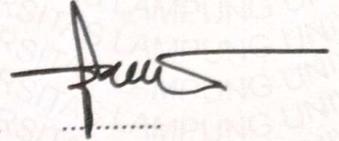
**Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**  
NIP. 197109092000121001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

Ketua

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



Sekretaris

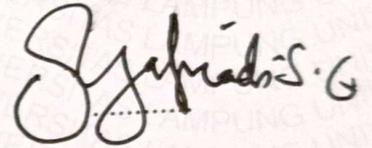
**: Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



Penguji

Bukan Pembimbing

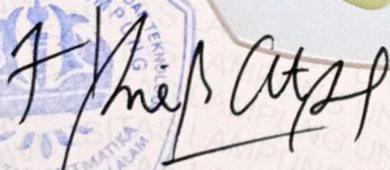
**: Drs. Syafriadi, M.Si.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Mei 2025

## 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, 28 Mei 2025



**Diah Fauziah**  
**NPM. 2117041073**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Diah Fauziah merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Irwan Nursadi dan Ibu Abay Hermiati yang dilahirkan di Serang pada tanggal 11 Desember 2002. Penulis menyelesaikan pendidikan Madrasah Ibtidaiya (MI) Khairul Mufied pada tahun 2014, Madrasah Tsanawiyah (MTS) Khairul Mufied pada tahun 2017 dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Yasdhika pada tahun 2020. Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN pada tahun 2021 dan mengambil konsentrasi bidang Energi.

Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Anggota Bidang Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) pada tahun 2021-2022, UKM-U Penelitian sebagai Anggota Kaderisasi pada tahun 2021-2022, DPM-U sebagai Anggota Legislatif Muda 2021, BEM-F sebagai staff isu dan pergerakan pada tahun 2022, dan Himpunan Mahasiswa Banten (HMB) sebagai staff bidang Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) pada tahun 2021-2022. Selain aktif organisasi, penulis juga pernah mengikuti Magang dan Studi Independen (MSIB) Kampus Merdeka pada Program Studi Independen Bersertifikat di RevoU Tech Academy : *Learn Data Analytics & Software Development With AI* selama 5 bulan pada tahun 2024 dan Program MBKM Penelitian pada tahun 2024.

Penulis juga melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada tahun 2023 di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi Universitas Gajah Mada (UGM)

yang berlokasi di Komplek FMIPA Sekip Utara Bls 21, Yogyakarta dan menulis laporan yang berjudul “Karakterisasi *Nanoparticle Magnetic Green Synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cdot* Untuk Aplikasi Fotokatalitik Limbah *Methylene Blue (MB)*”. Penulis juga melakukan pengabdian masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung Periode I tahun 2024 di Desa Rejomulyo, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis menyelesaikan penelitian skripsi di Laboratorium Workshop Jurusan Fisika dengan judul **“Pengaruh Waktu Regenerasi Elektroda Zn Pada Sel Elektrokimia Air Laut Dengan Separator Alumina-Carbon Dan Semen Menggunakan Anolid *Acid Zinc* pH 4”**.

## MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

**(QS Al-Insyirah: 5-6)**

“Semua Jatuh bangunmu hal yang biasa, angan dan pertanyaan waktu yang menjawabnya, berikan tenggat waktu bersedihlah secukupnya, rayakan perasaanmu sebagai manusia”

**(Baskara Putra)**

“Kepadamu, 2000 tahun mulai sekarang, Darimu, 2000 tahun yang lalu”

**(Eren Yeager)**

“Langkah kakiku jauh melangkah meninggalkan rumah, menyebrangi lautan, demi membanggakan orang tua, tunggu aku pulang dengan gelar sarjana”

**(Diah Fauziah)**

“Jika Kamu Mencari siapa yang akan mengubah hidupmu, lihatlah di cermin”

**(Diah Fauziah)**

## PERSEMBAHAN

*Bismillahirrahmanirrahim..*

Alhamduillah rabbil'alamiin telah Engkau Ridhai Ya Allah langkah hambaMu,  
Sehingga pada akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan.

Teriring shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW semoga kelak skripsi  
ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat.

dan

Dengan kerendahan hati dan ketulusan persembahkan karya sederhana ini kepada  
orang tua ku Bapak dan Ibu

*Irwan Nursadi dan Abay Hermiati*

Terimakasih atas segala dukungan, do'a dan fasilitas yang selalu diberikan  
untuk kesuksesan putri pertamanya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di  
tingkat universitas sebagai sarjana.

Serta adik satu-satunya

*Ira Ramadani*

Terimakasih atas dukungan dan semangat yang telah diberikan sehingga dapat  
tetap terus berjalan dalam keadaan suka maupun duka.

*Almamaterku 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 **“Pengaruh Waktu Regenerasi Elektroda Zn Pada Sel Elektrokimia Air Laut Dengan Separator Alumina-Carbon Dan Semen Menggunakan Anolid *Acid Zinc* pH 4”**. 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, 28 Mei 2025  
Penulis

Diah Fauziah

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas kuasa Nya 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 Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan motivasi, waktu, bimbingan, arahan dan fasilitas 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. Bapak Drs. Syafriadi, M.Si., selaku Dosen Pembahas yang telah memberi kritik dan saran sehingga penulisan skripsi ini dapat lebih baik dari yang sebelumnya.
4. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah senantiasa memberikan nasihat, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si. M.Si. M.Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
7. Seluruh Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan saya ilmu serta nasihat selama perkuliahan.
8. Para Tenaga Kependidikan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi Penulis.

9. Cinta pertama dan panutanku, Bapak Irwan Nursadi dan pintu surgaku Ibu Abay Hermiati yang senantiasa mendoakan dan memotivasi peneliti untuk menyelesaikan perkuliahan dan skripsi dengan baik. Terima kasih atas segala bentuk dukungan, kasih sayang, dan perjuangan. Semoga seluruh kebaikan yang telah dilakukan mendapat berkah dari Allah SWT dan selalu dilimpahi kesehatan serta kebahagiaan.
10. Adik peneliti satu-satunya Ira Ramadani yang telah memberi hiburan serta semangat peneliti dalam menjalani perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
11. Teman-teman tim penelitian Vika Aprianti dan Beti Setiawati atas dukungan dan kerjasamanya sehingga kita dapat menyelesaikan penelitian ini.
12. Sahabat-sahabatku “Anggur (Anggota Rajin Bersyukur)” Hanindiya Janitra Ajiningtyas dan Siti Nina Karnia. Terimakasih telah kebersamai penulis selama perkuliahan.
13. Teman-Teman Seperjuangan, Laras, Ebi, Angel, Flora, Annisatul, Feby, yang telah memberikan semangat, dukungan, motivasi, kebersamaan dan tempat berkeluh kesah selama perkuliahan.
14. Faried Duta Pratama, yang telah kebersamai penulis pada hari-hari yang tidak mudah selama penulisan skripsi. Terimakasih atas dukungan dan semangat serta menjadi tempat untuk berkeluh kesah.
15. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2021 yang telah berjuang bersama selama masa perkuliahan.
16. Terakhir, tentunya saya berterimakasih kepada diri saya sendiri, terimakasih atas semangat pantang menyerah yang awalnya gabisa tapi sampai detik ini sudah dilalui, kekuatan, kedisiplinan, tekad yang kuat, keberanian sampai bisa menginjakkan kaki di Bandar Lampung dalam berbagai kondisi sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan dan skripsi ini semaksimal mungkin. Sehat selalu dan jangan pernah menyerah, masih banyak keinginan yang belum terwujud dan banyak tempat yang belum didatangi.

Bandar Lampung, 28 Mei 2025  
Penulis

Diah Fauziah

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTARCT</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>MENGESAHKAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	<b>1</b>
1.2. Rumusan Masalah .....	<b>5</b>
1.3 Tujuan Penelitian .....	<b>5</b>
1.4 Manfaat Penelitian.....	<b>5</b>
1.5. Batasan Masalah.....	<b>6</b>
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	<b>7</b>
2.2. Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya .....	<b>10</b>
2.3. Dasar Teori .....	<b>11</b>
2.3.1 Sel Elektrokimia .....	<b>11</b>

2.3.2 Sel Elektrolisis .....	12
2.3.3 Sel Galvani.....	14
2.3.4 Elektrolit Sebagai Energi Alternatif.....	15
2.3.5 Air Laut.....	16
2.3.6 Separator .....	17
2.3.7 Elektroda (Anoda dan Katoda) .....	18
2.3.8 Regenerasi Anoda .....	19
2.3.9 Regenerasi <i>Acid Zinc</i> .....	20
2.3.10 Elektroplating Ag pada Cu.....	21
2.3.11 Karakteristik Zn (Seng).....	22
2.3.12 Karakteristik Alumina-carbon dan Semen.....	23
2.3.13 Korosi.....	24
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	26
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Sel Galvani.....	29
3.3.2 Pembuatan Separator .....	30
3.3.3 Proses Elektroplating Ag dan Cu .....	31
3.3.4 Proses Pembuatan Larutan <i>Acid Zinc</i> .....	31
3.3.5 Proses Pengambilan Data.....	32
3.3.6 Metode Analisis Data.....	33
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Realisasi Sel Galvani.....	37
4.2 Hasil Penelitian.....	38
4.2.1 Data Pengamatan dan Perhitungan Karakteristik Elektrik .....	38
4.2.1.1 Pengukuran Arus dan Tegangan dengan Beban LED ( $V_b$ ).....	38
4.2.1.2 Pengukuran Arus dan Tegangan Tanpa Beban ( $V_o$ ).....	41
4.2.1.3 Pengukuran Intensitas Cahaya (Cd).....	44
4.2.1.4 Pengukuran Hambatan ( $k\Omega$ ) dengan Beban ( $V_b$ ) dan Tanpa Beban ( $V_o$ ).....	46
4.2.1.5 Pengukuran Arus (mA) dan tegangan (V).....	47
4.2.2 Konsentrasi Larutan Acid Zinc Pada Regenerasi Elektroda Zn .....	48

4.2.3 Laju Korosi Elektroda Cu dan Zn.....	51
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>55</b>
5.1 Simpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Realisasi Sel Elektrokimia.....	7
<b>Gambar 2.2</b> Desain 5 Sel galvani (Bagian Luar).....	10
<b>Gambar 2.3</b> Proses Sederhana Sel Elektrolisis.....	14
<b>Gambar 2.4</b> Proses Sederhana Sel Galvani .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Skema Separator .....	18
<b>Gambar 2.6</b> Proses Korosi Secara Galvani.....	25
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	28
<b>Gambar 3.2</b> Desain 20 Sel galvani .....	29
<b>Gambar 3.3</b> Desain Sel Galvani (bagian dalam) .....	29
<b>Gambar 3.4</b> Desain 20 Separator.....	31
<b>Gambar 3.5</b> Desain Pengujian Sel Galvani .....	33
<b>Gambar 3.6</b> Grafik Pengukuran Arus (mA).....	34
<b>Gambar 3.7</b> Grafik Pengukuran Tegangan (V).....	34
<b>Gambar 3.8</b> Grafik Pengukuran Intensitas Cahaya (Cd) .....	35
<b>Gambar 3.9</b> Grafik Pengukuran Hambatan ( $k\Omega$ ).....	35
<b>Gambar 3.10</b> Grafik Pengukuran Arus (mA).....	36
<b>Gambar 3.11</b> Grafik Pengukuran Tegangan (V).....	36
<b>Gambar 3.12</b> Grafik Pengukuran Hambatan ( $k\Omega$ ).....	36
<b>Gambar 4.1</b> Sistem Sel Galvani.....	38
<b>Gambar 4.2</b> Grafik Pengukuran Arus (mA) dan Tegangan (V) Dengan Beban LED ( $V_b$ ).....	39
<b>Gambar 4.3</b> Grafik Pengukuran Arus (mA) dan Tegangan (V) Tanpa Beban LED ( $V_o$ ).....	43
<b>Gambar 4.4</b> Grafik Intensitas Cahaya Dengan LED (Cd) .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Pengukuran Hambatan ( $k\Omega$ ) Dengan Beban LED ( $V_b$ ) ..	49

<b>Gambar 4.6</b> Grafik Pengukuran Hambatan ( $k\Omega$ ) Tanpa Beban LED ( $V_o$ ).....	49
<b>Gambar 4.7</b> Regenerasi Anoda Zn.....	52
<b>Gambar 4.8</b> Grafik Proses Regenerasi Elektroda Zn (g).....	53
<b>Gambar 4.9</b> Katoda Cu Sebelum Penggunaan 24 Jam.....	55
<b>Gambar 4.10</b> Anoda Zn Sebelum Penggunaan 24 Jam.....	55
<b>Gambar 4.11</b> Katoda Cu Setelah Penggunaan 24 Jam.....	56
<b>Gambar 4.12</b> Anoda Zn Setelah Penggunaan Selama 24 jam.....	56
<b>Gambar 4.13</b> Massa Katoda Cu Sebelum dan Sesudah Korosi Selama 24 Jam..	57

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 3.1</b> Alat Penelitian.....	26
<b>Tabel 3.2</b> Bahan Penelitian .....	27
<b>Tabel 3.3</b> Data Pengamatan Menggunakan Beban LED ( $V_b$ ) .....	33
<b>Tabel 3.4</b> Data Pengamatan Tanpa Menggunakan Beban LED ( $V_o$ ).....	35
<b>Tabel 4.1</b> Kuat Arus Dengan Beban LED ( $V_b$ ) Selama 24 Jam .....	41
<b>Tabel 4.2</b> Tegangan Dengan Beban LED ( $V_b$ ) Selama 24 Jam .....	41
<b>Tabel 4.3</b> Arus Tanpa Beban LED ( $V_b$ ) Selama 24 Jam .....	44
<b>Tabel 4.4</b> Arus Tanpa Beban LED ( $V_o$ ) Selama 24 Jam .....	44
<b>Tabel 4.5</b> Pengukuran Intensitas Cahaya Selama 24 Jam.....	47
<b>Tabel 4.6</b> Hambatan ( $k\Omega$ ) Dengan Beban LED ( $V_b$ ) dan Tanpa Beban LED ( $V_o$ ) .....	49
<b>Tabel 4.7</b> Pengukuran Arus dan Tegangan Dengan Beban LED ( $V_b$ ) dan Tanpa Beban LED ( $V_o$ ) selama 24 Jam .....	51
<b>Tabel 4.8</b> Massa Elektroda Zn Sesudah dan Sebelum Proses <i>Discharging</i> .....	52
<b>Tabel 4.9</b> Pengukuran Regenerasi Elektroda Zn Selama 24 Jam .....	54

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kehidupan manusia sangat bergantung pada energi listrik. Hal tersebut dikarenakan oleh mayoritas aktivitas dalam kehidupan sehari-hari membutuhkan energi listrik sebagai sumber energi penggerak. Energi adalah kebutuhan konstan bagi manusia. Sumber energi yang diserap akhirnya akan habis dan menipis. Air laut merupakan salah satu sumber energi alternatif yang digunakan dalam penciptaan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi jenis ini. Konsentrasi tinggi natrium klorida (NaCl) dan H<sub>2</sub>O ditemukan di dalam kandungan air laut. Air laut adalah elektrolit kimia yang menggunakan proses elektrokimia untuk menghasilkan energi listrik (Prastuti, 2017).

Sel elektrokimia merupakan pemanfaatan dari arus listrik yang didapatkan lewat suatu reaksi kimia atau arus listrik yang mengakibatkan terjadinya reaksi yaitu reaksi kimia. Pemanfaatan sel elektrokimia umum digunakan guna menghasilkan teknologi yang dapat diperbaharui. Sel elektrolisis dan sel volta dipakai guna menciptakan teknologi terbaru. Sel elektrolisis dan sel volta adalah hasil dari terapan sel elektrokimia yang memakai media elektroda serta larutan elektrolit. Sel elektrokimia saat ini mempunyai peran vital dalam kemajuan teknologi di era modern seperti pada industri otomotif sampai keperluan rumah tangga (Harahap, 2016).

Sel Volta merupakan sel elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik yang didapati lewat reaksi kimia yang berlangsung secara spontan. Sejumlah literatur menyebutkan juga bahwa sel volta serupa dengan sel galvani. Penemuan tersebut bermula dari penemuan baterai yang berasal dari cairan garam. Pada sel Volta anoda

merupakan kutub negatif dan katoda kutub positif. Anoda dan katoda akan dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang terhubung oleh separator. Separator memiliki fungsi sebagai pemberi suasana netral (*grounding*) dari kedua larutan yang menghasilkan listrik (Masnur, 2021). Sel volta pada satu sel menyebabkan elektron secara cepat menyebabkan korosi karena perbedaan potensial yang berada dalam suatu lingkungan elektrolit (Wibowo, 2016).

Korosi merupakan proses pemisahan logam karena reaksi elektrokimia antara logam dan sekitarnya. Proses sederhana korosi melibatkan logam yang kembali ke keadaan semula sebagai senyawa dengan oksigen sebagai bahan baku (bijih) dalam ekstraksi metalurgi pembuatan logam yang juga senyawa dengan oksigen. Dengan demikian, korosi adalah kebalikan dari proses ekstraksi mekanis, di mana sejumlah besar energi diperlukan untuk memulai proses produksi logam. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi korosi adalah komposisi udara, yang meliputi oksigen reaktif dan pH rendah. Metode yang dapat digunakan untuk menghentikan korosi ialah dengan membersihkan media yang terhubung dengan logam, menyaring media yang akan digunakan, memberikan perlindungan anti oksidan, menggunakan korosi inhibitor, dan melakukan pelapisan pada logam induk menggunakan bahan yang bersifat pelindung atau tidak permanen. Pelapisan logam induk dengan material pelindung dapat dilakukan dengan proses elektroplating (Sidiq, 2013). Regenerasi anoda dilakukan dalam sel volta menggunakan separator yang digunakan sebagai elektrolit selama proses elektroplating. Untuk meregenerasi anoda menggunakan metode elektroplating ini dengan mentransfer ion dari anolid ke permukaan anoda (Sani & Prasetya, 2018)

Elektroplating merupakan proses pelapisan di mana pelapis logam pelindung (anoda) dilaminasi ke logam lain (katoda) menggunakan arus listrik DC dan tegangan konstan (Budiyanto dkk., 2017). Proses elektroplating pada permukaan logam dengan metode menggunakan larutan elektrolit yang terdiri dari amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan *zinc* klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) serta anoda yang digunakan yaitu seng 99,99% dengan kisaran suhu 20 hingga 50°C untuk suhu larutan elektroplating *acid zinc* (Ansari dkk., 2017).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, Rizki (2019) telah berhasil membuat sel elektrokimia pada sel volta tanpa menggunakan bantuan jembatan garam dengan elektroda berbentuk plat Cu(Ag)-Zn untuk mengetahui karakteristik elektrik listrik dari air laut. Kesimpulan dari penelitian ini adalah Elektroplating Ag pada Cu mampu menghasilkan katoda Cu(Ag) yang lebih tahan terhadap korosi dari air laut dengan laju korosi 5 kali lebih rendah dibandingkan Cu dan sepasang elektrode Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan Cu-Zn. Penelitian oleh Anjarwati (2019). Penelitian ini merancang sel volta dengan bantuan 4 jembatan garam menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn berbentuk serabut Cu (tembaga) dan menambahkan jembatan garam NaCl dan KCl dalam proses elektrokimia. Kesimpulan dari penelitian ini adalah dengan Pasangan elektroda Cu(Ag)-zn dengan penambahan jembatan garam (separator) lebih tahan terhadap korosi dari air laut dan Jembatan garam (separator) NaCl dengan konsentrasi 1 mol menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan jembatan garam KCl 0,1 mol, KCl 1 mol, dan NaCl 0,1 mol. Penelitian oleh Shavira (2023). Penelitian ini merancang sel volta dengan bantuan separator NaCl dan KCl dalam proses elektrokimia. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa Variasi separator *carbon* 12 gram menghasilkan nilai karakteristik elektrik lebih besar dibandingkan variasi separator  $Al_2O_3$  102 gram karena semakin besar konsentrasi separator semakin padat pula kandungan *carbon* dan  $Al_2O_3$  pada separator dan akan memperbesar hambatan ion  $H^+$  untuk melewati separator, sehingga reaksi redoks terhambat dan menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang semakin kecil.

Separator mengacu pada interaksi antara residu yang mengandung muatan dan residu asam amino (Malau & Sianturi, 2017). Antara sel separator yang berfungsi untuk menyetarakan anion dan kation di larutan elektrolit sehingga ion di dalamnya menjadi seimbang dan terjadi proses elektrokimia. Proses pembuatan separator pada penelitian ini menggunakan aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ), karbon dan campuran semen dapat digunakan untuk membuat separator dalam sel volta. Tujuan aluminium oksida dalam pembuatan separator adalah untuk secara signifikan mengurangi besar keluaran yang dihasilkan (Parkash, 2016). Pada penelitian ini menggunakan media katolid air laut dan anolid *acid zinc* pH 4.

Larutan anolid *acid zinc* pH 4 berhubungan juga dengan kekuatan ionik yang digunakan. Kekuatan ion ialah konsentrasi total ion dalam larutan. Semakin tinggi suatu ion, semakin banyak ion itu dihitung (Haris dkk., 2007). Larutan anolid *acid zinc* adalah salah satu tipe larutan anolid yang sering digunakan di industri pelapisan seng. Logam seng dari jenis larutan asam, baik seng sulfat ataupun larutan kompleks seng klorida. Pada jenis larutan asam klorida terdapat kelebihan maupun kekurangan, keuntungan pertama ialah efisiensi katoda bernilai tinggi, pada larutan ini mempunyai lebih sedikit reaksi samping dan waktu pelapisan yang dibutuhkan relatif lebih cepat. Kedua dengan dilakukan pengolahan terhadap limbah yang minimal. Sedangkan pada kelemahan dari larutan ini ialah sifat korosif dari bahan kimia yang digunakan guna menyusun larutan asam seng klorida ini, yang dapat merusak lapisan seng dari pelapisan pada tahap akhir dilakukan perendaman dan pembilasan yang tepat menggunakan air mengalir (Herdiadi, 2019). Larutan *Acid Zinc* perlu dilakukan regenerasi yang memiliki pH 4. Regenerasi *acid zinc* adalah proses pemulihan atau peningkatan anoda logam seng (Zn) dalam sistem elektroplating dengan menggunakan larutan asam seng. Proses ini bertujuan untuk memperbaiki dan meningkatkan performa anoda yang telah digunakan, terutama dalam aplikasi sel galvani (Febriani, 2022).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian dengan judul Pengaruh Konsentrasi *Acid Zinc* Pada Regenerasi Elektroda Zn Pada Sel Elektrokimia Air Laut Dengan Separator Alumina-Carbon Dan Semen. Penelitian ini difokuskan untuk meregenerasi anoda Zn dengan menggunakan metode elektroplating untuk menghasilkan nilai laju plating anoda Zn yang telah digunakan dalam kurun waktu 24 jam. Elektroplating dalam penelitian ini menggunakan permukaan konduktif sebagai pelapis berupa separator alumina-*carbon* dan semen disertai campuran elektrolit air laut. Variabel yang akan dianalisis yaitu suhu, tegangan dan cahaya dengan menggunakan beban LED 20 buah, serta suhu, tegangan tanpa menggunakan beban lampu LED 20 buah. Hasil analisis ini akan menjadi dasar menghasilkan energi alternatif dari elektroda Cu(Ag)-Zn berbahan elektrolit air laut dan larutan *acid zinc*. Kelebihan dari kandungan alumina-*carbon* dan semen yaitu memiliki sifat ketahanan listrik yang baik, tahan terhadap asam dan harganya relatif murah. Penggunaan alumina-*carbon* dan semen untuk

membuat separator 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 pengaruh waktu regenerasi elektroda Zn pada sel elektrokimia air laut dengan separator alumina-*carbon* dan semen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4?
2. Bagaimana pengaruh anolid *acid zinc* pH 4 terhadap uji karakteristik elektrik dan ketebalan penambahan massa terhadap elektroda yang digunakan pada sel elektrokimia?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh waktu regenerasi elektroda Zn pada sel elektrokimia air laut dengan separator alumina-*carbon* dan semen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4.
2. Mengetahui pengaruh anolid *acid zinc* pH 4 terhadap uji karakteristik elektrik dan ketebalan penambahan massa terhadap elektroda yang digunakan pada sel elektrokimia?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan referensi penelitian mengenai waktu regenerasi elektroda zn pada sel elektrokimia air laut dengan separator alumina-*carbon* dan semen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4.

2. Memberikan pengetahuan dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya tentang energi terbarukan terkhusus energi listrik air laut pada larutan *acid zinc* pH 4.
3. Memberikan wawasan tentang bagaimana meningkatkan kualitas lapisan Zn yang dihasilkan, serta ketahanan terhadap korosi. Ini sangat relevan bagi industri yang memerlukan material dengan ketahanan tinggi

### 1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan elektroda Cu dan Zn.
2. Separator yang dibuat menggunakan alumina-*carbon* dan semen.
3. Anolid yang digunakan adalah *acid zinc* pH 4 yang terbuat dari aquades, NaCl, NH<sub>4</sub> dan elektroda Zn untuk memperoleh energi listrik.
4. Regenerasi elektrolit air laut diganti 1 jam sekali selama 24 jam.
5. Pengambilan data karakteristik elektrik dilakukan 30 menit sekali selama 24 jam dengan proses pergantian air secara manual memerlukan waktu 10 menit.
6. Pengambilan data regenerasi elektroda Zn dilakukan 5 menit sekali.
7. Komposisi separator adalah alumina sebesar 150 gram, semen sebesar 100 gram dan *carbon* sebesar 5 gram.
8. Larutan *acid zinc* sebanyak 200 ml.
9. Elektrolit air laut sebanyak 100 ml.
10. Salinitas air laut sebesar 36 ‰.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai karakteristik elektrik air laut juga telah dilakukan oleh Pauzi dkk., (2020). Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari cara penggunaan magnesium (Mg) sebagai anoda tumbal untuk melindungi sebuah Zn yang digunakan sebagai anoda dalam sel elektrokimia sebagai *accumulator* untuk menghasilkan energi listrik dari air laut. Ag digunakan sebagai anoda untuk melapisi dan melindungi Cu dari korosi katodik. Kemudian sel elektrokimia dirangkai terdiri dari 20 sel yang disusun secara seri terdahulu, adapun realisasi sistem bisa dilihat pada **Gambar 2.1**, masing-masing sel diisi air laut sebanyak 300 mL. Sel *accumulator* dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 volt selama 72 jam dan pengambilan data setiap 1 jam, karakteristik listrik meliputi tegangan, arus, dan intensitas cahaya. Dari data tegangan dan arus, dihitung besarnya hambatan dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Mg sebagai anoda tumbal menghasilkan data karakteristik listrik meliputi tegangan tanpa beban 2 kali lebih besar, tegangan dengan beban yang lebih stabil, arus dan yang lebih besar sekaligus menurunkan hambatan dalam sel elektrokimia dibanding tanpa penggunaan anoda tumbal Mg.



**Gambar 2.1** Realisasi Sel Elektrokimia (Pauzi dkk., 2020)

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh elektroplating perak (Ag) pada tembaga (Cu) terhadap karakteristik elektrik air laut oleh (Rizki, 2019) dengan menggunakan pasangan tembaga-seng (Cu-Zn) yaitu pasangan elektroda yang sering digunakan pada sel galvanik air laut sebagai sumber energi listrik. Katoda Cu yang digunakan mengalami korosi ketika bereaksi dengan air laut. Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh katoda yang lebih tahan korosi dan mengetahui pengaruh elektroplating Ag pada Cu terhadap uji karakteristik elektrik yang akan dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan sistem sel galvanik yang tersusun dari 20 sel dengan tambahan elektrolit air laut serta pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn. Elektroda antar sel-sel yang akan dihubungkan secara seri dengan kabel penghubung dan air laut mengalami pergantian setiap 24 jam sekali. Pada sistem ini dilakukan pengukuran massa elektroda dan karakteristik elektrik (tegangan, arus, dan intensitas cahaya) selama 72 jam. Penelitian ini menghasilkan bahwa Cu(Ag) lebih tahan terhadap korosi dari air laut dengan laju korosi 5 kali jauh lebih rendah dibandingkan dengan Cu. Pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang jauh lebih besar dan stabil dibandingkan Cu-Zn.

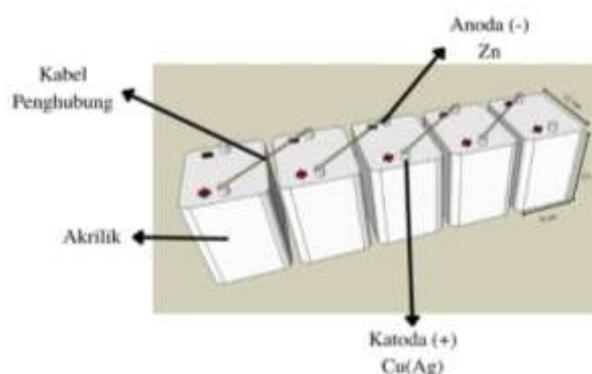
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis separator pada sel elektrokimia menggunakan elektroda Cu(Ag)-Zn berbahan elektrolit air laut oleh (Anjarwati, 2019) untuk melihat pengaruh terhadap korosi dan karakteristik elektrik. Dengan menggunakan variasi separator yang digunakan yaitu NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol, NaCl 1 mol, dan KCl 1 mol. Sel elektrokimia yang digunakan terdiri dari 20 sel yang disusun secara seri, dengan masing masing sel di isi air laut sebanyak 300 mL. Sel elektrokimia dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 Volt selama 1 hari. Terdapat sistem ini digunakan untuk pengukuran massa elektrode dan karakteristik elektrik (tegangan, arus, dan intensitas cahaya) selama 24 jam. Mendapatkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa Cu(Ag)-Zn dengan bantuan separator NaCl 1 mol lebih tahan terhadap korosi dari air laut dibandingkan dengan separator NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol, dan KCl 1 mol. Pasangan elektrode Cu(Ag)-Zn dengan bantuan separator NaCl 1 mol dapat menghasilkan nilai karakteristik elektrik yang lebih besar dan stabil dibandingkan dengan separator NaCl 0,1 mol, KCl 0,1 mol, dan KCl 1 mol, arus 2.95 mA dan daya 23.777 mW dengan volume 300 ml pada satu jam pertama pada saat percobaan.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh waktu dan arus terhadap pertambahan massa anoda Zn pada pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn yang terdapat pada sistem sel volta oleh (Febriani, 2022). Penelitian ini menggunakan larutan *acid zinc* dengan pH 4. Pada larutan *acid zinc* berisi amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ). penggunaan sel volta terdiri atas 20 sel yang berbahan akrilik. Dengan memfokuskan pada regenerasi anoda Zn menggunakan metode elektroplating yang dapat menghasilkan nilai laju plating anoda Zn yang digunakan dalam kurun waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Proses pengambilan data menggunakan metode elektroplating dilakukan dalam waktu 5 menit dan 10 menit. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, memperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi arus serta semakin lama waktu yang digunakan pada proses elektroplating dapat meningkatkan nilai perubahan dalam massa logam Zn sehingga laju plating Zn yang dihasilkan menjadi semakin tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan variasi separator pada sel galvani dua kompartemen dengan elektroda Cu(Ag)-Zn oleh (Shavira, 2023). Terhadap nilai karakteristik elektrik yang diuji. Beberapa pasangan Cu(Ag)-Zn digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus dalam sel dengan elektrolit air laut dan acid zinc memiliki dua kompartemen yang dibatasi dengan separator yang terbuat dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida), dan Carbon, NaCl (air laut) yang terlarut dalam semen putih tiga roda. Sel galvani terdiri dari 4 sel yang tersusun secara seri yang setiap sel terisi dengan  $\pm 200$  ml air laut (bagian katode) dan  $\pm 200$  ml larutan acid zinc (bagian anoda). Sel galvani kemudian diukur dengan multimeter setiap 1 jam sekali selama 3 hari. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan yaitu variasi separator *carbon* 12 gram dan memiliki nilai karakteristik elektrik yang paling besar dibuat sistem sel galvani dua kompartemen yang terdiri dari 4 sel yang tersusun secara seri dengan wadah tertutup dengan elektrolit air laut dan larutan acid zinc dengan elektroda Cu(Ag)-Zn.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui analisis pengaruh variasi massa separator campuran alumina dan semen pada sel galvani oleh (Syaima, 2023) dengan dua kompartemen menggunakan bahan anodid *acid zinc* pH 4 dan katolid air laut dengan elektroda Cu(Ag) Zn berpengaruh terhadap nilai karakteristik

elektrik dan laju korosi yang dihasilkan oleh anoda Zn. Beberapa komposisi massa pada separator menggunakan variasi 4 (empat) dan menggunakan sel galvani sebanyak 5 bisa dilihat pada **Gambar 2.2**. Perbandingan dari setiap masing-masing separator yaitu dengan membandingkan massa alumina 100 gram, 150 gram, 200 gram, dan 250 gram dengan massa semen konstan 100 gram. Penelitian ini mengambil data pada sel galvani dilakukan setiap 1 jam sekali selama 3 hari (72 jam). Uji karakteristik elektrik yang dihasilkan oleh sel galvani yaitu tegangan, arus, intensitas cahaya, hambatan dan daya. Laju korosi yang dihasilkan anoda Zn dilihat dari massa kehilangan anoda selama pemakaian berlangsung. Berdasarkan hasil pada penelitian ini dapat disimpulkan yaitu komposisi alumina pada campuran separator tidak menjadi alasan faktor utama yang dapat mempengaruhi keluaran karakteristik elektrik sel galvani dan laju korosi yang dihasilkan anoda Zn melainkan faktor lain berupa kelembaban dan reaksi kimia.



**Gambar 2.2** Desain 5 Sel galvani (Bagian Luar) (Syaima, 2023)

## 2.2. Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian sebelumnya terletak pada alumina-*carbon* dan semen yang digunakan dalam campuran separator dan desain pada separator ini yang ada di dalam sel galvani yang diregenerasi menggunakan Zn dan elektrolit air laut setiap 1 jam sekali. Penelitian ini menggunakan tiga bahan untuk membuat separator dengan campuran alumina-*carbon* dan semen dengan komposisi separator 150:5:100. Komposisi yang akan digunakan adalah perbandingan massa total di setiap 20 sel yang akan digunakan

dengan campuran alumina + *carbon* + semen + air laut (NaCl). Desain separator yang akan dibuat juga berbeda dengan penelitian sebelumnya yaitu separator yang dibuat dengan campuran alumina-*carbon* dan semen serta campuran air akan dibentuk seperti “bak” untuk mengurangi persentasi tinggi kebocoran larutan elektrolit yang ada di dalamnya. Setiap sel galvani berisi sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn yang dibatasi oleh sebuah separator. Sel galvani yang akan dibuat menggunakan anoda Zn yang dapat diregenerasi dengan metode elektroplating. Anolid yang digunakan pada bagian anoda Zn di dalam sel galvani 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 Sel Elektrokimia**

Sel elektrokimia yang didefinisikan pada suatu sistem yang terdiri dari dua elektroda yang dipisah oleh satu macam fase elektrolit yang umumnya diantara kedua elektrode dalam sel elektrokimia terdapat perbedaan potensial yang terukur (Haq dkk., 2018). Studi elektrokimia berkaitan dengan proses penyematan elektron yang terjadi pada media yang digerakkan oleh elektroda. Elektroda terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Hal ini karena elektroda tersebut akan dihubungi oleh arus. Listrik sebagai sumber energi dalam perangkat elektronik. Konsep elektrokimia berasal dari reaksi reduksi-oksidasi (redoks) dan elektrolit. Reaksi redoks adalah produk sampingan dari proses reduksi dan oksidasi, yang berlangsung secara bersamaan. Selama reaksi reduksi, selain itu reaksi oksidasi mewakili pelepasan peristiwa. Elektron yang terjadi di media pengantar sel elektrokimia. Hasil dari reaksi pada elektroda ini yang akan menjadi media penghantar energi yang dihasilkan. Saat ini sel elektrokimia masih memiliki peran penting pada kemajuan teknologi yang modern sampai pada industri otomotif dan rumah tangga (Harahap, 2016).

Proses elektrokimia melalui proses yang tidak terlepas dari logam yang dicampurkan dengan larutan sebagai elektroda yang terdiri dari katoda dan anoda. Jenis sel elektrokimia terdiri dari dua jenis yaitu sel galvanik dan sel elektrolisis. Selain itu, metode elektrokimia juga melalui media pengantar untuk terjadinya elektron pada suatu sistem reaksi yang dinamakan larutan. Larutan dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukan elektrolit (Anwar, 2021). Larutan elektrolit kuat adalah larutan yang mengandung ion terlarut dan dapat mengantarkan arus listrik sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan larutan elektrolit lemah dalam larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima elektron relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil. Namun demikian proses elektrokimia tetap terjadi. Untuk larutan bukan elektrolit, proses serah terima elektron tidak terjadi. Pada proses elektrokimia tidak terlepas dari logam yang dicelupkan pada larutan disebut elektroda. Terdiri dari katoda dan anoda (Harahap, 2019). Jika reaksi ada elektrokimia didorong potensial yang berbeda, maka secara eksternal disebut elektrolisis. Ada dua prinsip sel elektrokimia yaitu:

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

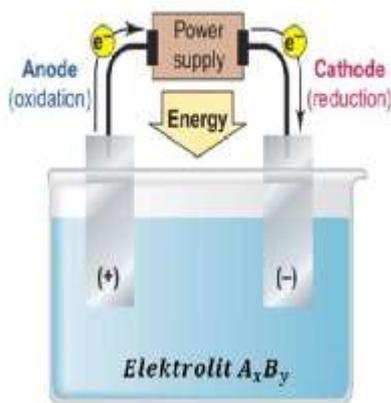
Sel elektrokimia yang baik untuk melepas atau menyerap energi tetap melibatkan perpindahan elektron dari satu senyawa ke senyawa yang lainnya pada saat suatu reaksi oksidasi reduksi (Mulyono, 2017).

### **2.3.2 Sel Elektrolisis**

Sel elektrolisis dan sel galvanik yaitu hasil dari serapan dari sel elektrokimia yang menggunakan media elektroda dan larutan elektrolit yang dikandungnya. Elektroda tersebut akan mengalami reaksi kimia yang terjadi pada katoda dan anoda. Beberapa hasil dari interaksi yang terjadi pada elektroda ini yang akan menjadi media penghantar energi (Putri & Maruf, 2018).

Elektrolisis merupakan salah satu alternatif metode pengolahan yang dapat dipilih. Metode ini cukup sesuai untuk diterapkan karena tingginya kandungan ion-ion anorganik dalam lindi, sehingga efisiensi pengolahan dapat meningkat seperti yang dinyatakan oleh (Abdullah & Bagastyo, 2015).

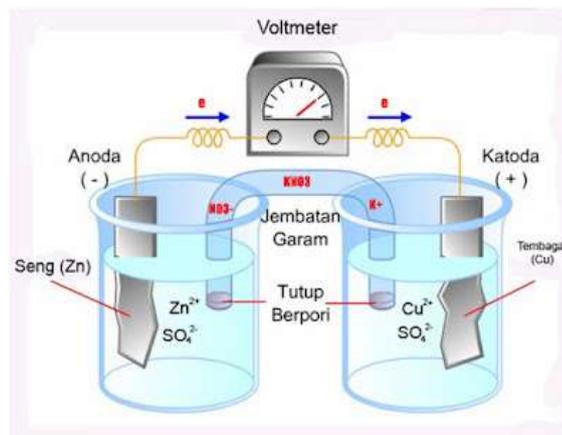
Sel elektrolisis berfungsi untuk menguraikan senyawa-senyawa kimia dengan memanfaatkan arus listrik. Dalam sel ini, elektroda positif disebut anoda, di mana reaksi oksidasi terjadi, sementara elektroda negatif disebut katoda, di mana reaksi reduksi berlangsung. Melalui elektrolisis, kation dan anion dalam larutan dapat bergerak dan disisihkan dengan melibatkan proses oksidasi dan reduksi, misalnya anion terutama ion klorida akan teroksidasi menjadi klorin. Sel elektrolisis merupakan sel elektrokimia yang menggunakan sumber energi listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Pada sel elektrolisis katoda memiliki muatan negatif sedangkan anoda memiliki muatan positif. Sesuai dengan prinsip kerja arus listrik. Terdiri dari zat yang dapat mengalami proses ionisasi, elektroda dan sumber listrik (baterai). Listrik dialirkan dari kutub negatif dari baterai ke katoda yang bermuatan negatif. Larutan akan mengalami ionisasi menjadi kation dan anion. Kation di katoda akan mengalami reduksi sedangkan di anoda akan mengalami oksidasi. Salah satu aplikasi dari sel elektrolisis yaitu penyepuhan logam emas dengan menggunakan larutan elektrolit yang mengandung unsur emas (Au). Hal ini dilakukan untuk melapisi kembali perhiasan yang kadar emasnya sudah lemah (Anjarwati 2019). Elektroda yang digunakan pada proses sel elektrolisis terdiri dari dua jenis yaitu elektroda inert, elektroda tidak inert. elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi baik sebagai katoda maupun anoda, sehingga dalam sel elektrolisis yang mengalami reaksi redoks. elektrolit sebagai zat terlarut dan atau air sebagai pelarut. Contohnya adalah karbon (C) dan platina (Pt). Elektroda tidak inert atau elektrode aktif adalah elektrode yang ikut bereaksi, terutama jika digunakan sebagai anoda, dapat mengalami reduksi. Contohnya adalah Fe, Al, Cu, Zn, Ag dan Au. Berikut adalah proses sederhana sel elektrolisis dapat dilihat pada **Gambar 2.3** (Riyanto, 2013).



**Gambar 2.3** Proses Sederhana Sel Elektrolisis (Sadono, 2017)

### 2.3.3 Sel Galvani

Sel Galvani juga dikenal sebagai sel volta adalah salah satu contoh sel surya yang menggunakan prinsip energi kinetik untuk diubah menjadi energi listrik. Dalam sel galvani, reaksi yang dikenal sebagai oksidasi-reduksi terjadi dalam keadaan tertentu, memungkinkan ekstrak listrik diperoleh dari sel yang disebutkan di atas. Reaktan secara fisik lentur untuk mengatur waktu reaksi (Darwinto dkk., 2017). Menurut seorang ilmuwan Italia bernama Luigi Galvani pada tahun 1786 yaitu sel galvani merupakan sel elektrokimia yang dapat menghasilkan energi listrik diperoleh dari reaksi kimia yang berlangsung secara spontan. Berawal dari penemuan sebuah baterai berupa cairan garam. Sel galvani terdiri dari anoda yaitu kutub negatif dan katoda yaitu kutub positif. Anoda dan katoda dimasukkan kedalam larutan elektrolit yang dihubungkan ke separator. Separator memiliki fungsi sebagai pemberi situasi netral (*grounding*) pada dua larutan yang memberikan hasil berupa energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan harus melewati reaksi kimia secara spontan maka dipilih dari larutan elektrolit harus mengikuti kaidah deret volta. Urutan deret volta Li, K, Ba, Ca, Mg, Al, Mn, (H<sub>2</sub>O), Zn, Cr, Fe, Cd, Ca, Ni, Sn, Pb, H, Cu, Hg, Ag, Pt, dan Au. Berikut adalah proses sederhana sel galvani dapat dilihat pada **Gambar 2.4** (Anjarwati, 2019).



**Gambar 2.4** Proses Sederhana Sel Galvani (Setiyana, 2020)

Menurut deret volta terdapat logam Cu mempunyai nilai potensial jauh lebih besar dibandingkan dengan logam Zn, Al, dan Fe. Logam yang mempunyai potensial lebih besar dapat dipakai sebagai elektroda positif (katoda), sedangkan pada logam yang mempunyai potensial yang lebih kecil dapat digunakan sebagai elektroda negatif (anoda). Oleh karena itu, sebuah pasangan elektroda yang terbentuk salah satunya adalah Cu-Zn (Hendri dkk., 2015).

### 2.3.4 Elektrolit Sebagai Energi Alternatif

Salah satu sumber daya energi alternatif terbarukan yang sering digunakan yaitu air laut. Indonesia mempunyai lautan yang luas sekitar 3.273.810 km<sup>2</sup>. Air laut menjadi salah satu bagian sumber energi karena memiliki 96,5% air murni dan 3,5% material garam murni (Adriani, 2020). Elektrolit adalah senyawa yang terkandung dalam larutan yang disosiasi menjadi beberapa partikel yang bermuatan (ion +) atau (ion -). Ion bermuatan positif (+) disebut kation dan sedangkan ion bermuatan negatif (-) disebut anion. Faktor keseimbangan keduanya yaitu sebagai elektronetralitas. Sebagian besar proses metabolisme memerlukan dan dipengaruhi oleh elektrolit (Yaswir & Ferawati, 2012). Elektrolit terbagi menjadi dua jenis yaitu elektrolit kuat dan lemah. Elektrolit kuat ialah larutan yang mengandung berbagai ion-ion yang larut dan dapat menghantarkan arus listrik yang sangat baik maka proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi listrik yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan elektrolit lemah ialah larutan yang mengandung berbagai ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima

elektron relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil (Harahap, 2016). Dalam sel elektrokimia, volume elektrolit juga dapat mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan. Karena itu, semakin banyak volume elektrolit yang digunakan, jumlah tegangan dan output listrik yang dihasilkan meningkat dan terkadang menurun (Yulianti dkk., 2017). Elektrolit mempunyai sifat asam, contohnya ikatan ion NaCl, salah satu jenis garam yaitu garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan atau lelehan dalam bentuk *liquid* dan *aqueous* (Fariya & Rejeki, 2015).

Jumlah volume elektrolit air laut yang digunakan dalam arus yang mengurangi jumlah energi diperoleh untuk menghasilkan cahaya (lampu LED) karena banyak elektron yang terperangkap dalam sel elektrokimia. Semakin banyak energi yang diberikan, semakin besar kemungkinan arus panjang antara katoda dan anoda dan akan menghasilkan beban (lampu LED) yang menjadi redup atau bahkan mungkin putus ketika arus panjang terjadi (Anisa & Setyaningrum, 2022).

### **2.3.5 Air Laut**

Air adalah senyawa yang sangat berguna bagi semua makhluk yang hidup. Berbagai kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi Air menutupi hampir 71% permukaan Bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik tersedia di permukaan bumi ini (Putri & Maruf, 2018). Air laut mengandung senyawa air ( $H_2O$ ) 96,5% dan natrium klorida (NaCl) 3,5%, tercampurnya NaCl dan  $H_2O$  untuk menghasilkan  $Na^+$  dan  $Cl^-$ . NaCl atau garam dapat dijadikan larutan elektrolit atau zat yang dapat membentuk ion-ion yang memiliki muatan listrik (Pauzi dkk., 2016). Air laut terbuat dari campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material yang lainnya, seperti garam-garaman, gas-gas terlarut, bahan-bahan dari organik dan partikel partikel tidak larut. Air laut mempunyai kadar garam rata-rata sebesar 3,5% yang jumlah lain dalam 1 liter (1000 ml) air laut terdapat sebesar 35 gram garam. Zat-zat garam utama yang terkandung di dalam air laut seperti klorida sebesar (55%), natrium sebesar (31%), sulfat sebesar (8%), magnesium sebesar (4%), kalsium sebesar (1%), potasium sebesar (1%) dan sisanya kurang dari 1% yang didasari dari

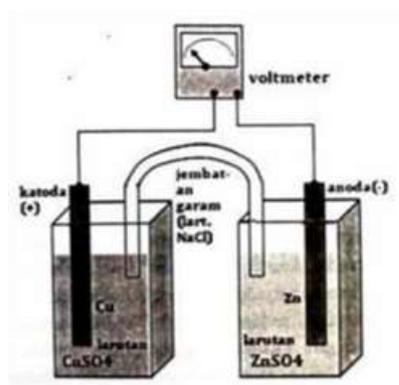
bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Kandungan garam di setiap laut sangat berbeda-beda ketika air sungai mengalir ke lautan, maka air tersebut membawa garam maka air laut menjadi asin karena banyak mengandung garam (Yuningsih & Masduki, 2011). Kadar garam berada di air laut dapat mempengaruhi sifat fisis air laut seperti densitas, kompresibilitas, titik beku dan temperatur (Adriani, 2020).

Air laut merupakan daerah yang korosif terhadap logam, terutama pada resistivitas air laut sangat rendah yaitu  $\pm 25$  Ohm-cm dibandingkan resistivitas air tawar yaitu  $\pm 4000$  Ohm cm. Air laut memiliki tingkat keasaman lebih tinggi pada permukaan. Tingkat keasaman (pH) terbentuk dari kandungan 93% karbon anorganik berupa  $\text{HCO}_3^-$ , 6% berupa  $\text{CO}_3^{2-}$  dan 1% berupa  $\text{CO}_2$ . Ion karbonat relatif sangat tinggi karena permukaan dan hampir jenuh pada  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat). Sehingga menyebabkan terjadi pengendapan jenuh (*calcareous scale*) terhadap permukaan logam. Kandungan pada garam dan temperatur sangat ditentukan pada penghantaran listrik pada air laut, karena salah satu faktor mempercepat terjadinya proses korosi. Pada kadar garam 25 sama terhadap kenaikan temperatur air laut yang disebabkan oleh daya hantar listrik air laut yang meningkat, sedangkan pada temperatur air laut yang sama dengan kadar garam yang meningkat menyebabkan hantaran listrik air laut terjadi kenaikan (Sasono, 2010).

### 2.3.6 Separator

Separator adalah tabung U yang mengandung garam NaCl dan bahan lain yang digunakan untuk menghubungkan dua jenis logam berbeda yang terletak pada wadah yang berbeda. Separator memungkinkan ion untuk berpindah dari satu set anoda ke set katoda lainnya. Separator digunakan untuk memantau listrik muatan kenetralan di larutan. Karena itu, konsentrasi elektrolit laten pada permukaan kaca, sejauh mungkin, lebih tinggi dari konsentrasi elektrolit total dalam dua kantong elektrolit yang digunakan (Haq dkk., 2018).

Arus listrik tetap mengalir di sel elektrokimia dan terhubung secara elektrik antara sel anoda dan katoda, dimana separator digunakan (Theodore dkk., 2015). Hal ini dapat menyebabkan perbedaan muatan negatif pada anoda, menyebabkan ion negatif menumpuk dan akhirnya membanjiri anoda. Terdapat skema separator di dalam sel elektrokimia ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Skema Separator (Rahmawati, 2013)

Elektrokimia sel pada separator memastikan arus tetap mengalir dalam sel dan menjaga elektronetralitas dalam sel. Jika tidak ada, maka tidak akan ada sambungan listrik antara anoda dan katoda. Elektron bersinggungan melalui kawat anoda melalui sirkuit eksternal dan kemudian menuju katoda, yang dapat mengakibatkan defisiensi muatan negatif pada sel anoda. Saat ini, anion-anion ( $\text{Cl}^-$ ) dari separator akan bermigrasi ke sel anoda. Di sisi lain, di wilayah katoda, ada defisiensi negatif, yang berarti bahwa ion  $\text{Na}^+$  akan ditarik ke separator di wilayah katoda. Penjumlahan aliran kation dan anion arus listrik yang diproduksi oleh separator (Rahmawati, 2013).

### 2.3.7 Elektroda (Anoda dan Katoda)

Elektroda adalah jenis konduktor yang dapat diaktifkan oleh listrik arus menggunakan sistem sel volta. Secara umum, elektroda terbuat dari bahan logam seperti timah, perak, tembaga, dan seng. Elektroda digunakan sebagai salah satu alat utama untuk susunan rangkaian dapat mempengaruhi tegangan yang dihasilkan sebagai sistem energi terbaru. Elektroda disusun seri memiliki potensi untuk meningkatkan hasil dibandingkan dengan elektroda yang disusun paralel. Elektroda

disusun secara seri-pararel (campuran) dapat menciptakan tegangan stabil dan tinggi (Maulan dkk., 2017).

Elektroda terdiri atas elektroda positif dan negatif. Elektroda negatif dikenal sebagai katoda dan berfungsi sebagai pemberi elektron, sedangkan elektroda positif dikenal sebagai anoda dan berfungsi sebagai penerima elektron. Sebagai contoh, anoda dan katoda akan mentransfer energi dari kutub positif (anoda) ke kutub negatif (katoda), sedangkan elektron akan mentransfer dari katoda ke anoda. Efek listrik yang terjadi selama radiasi matahari menyebabkan elektron bertransisi dari elektrolit negatif ke elektrolit positif. Hal ini disebabkan oleh perbedaan potensial antara kedua elektroda. Misalnya, kita dapat mengukur perbedaan potensial ( $\Delta V$ ) antara kedua elektroda menggunakan potensiometer ketika efek listrik menunjukkan penurunan amplitudo hingga putus, di mana perbedaan potensial disebut sebagai sel potensial. Jika bahan yang dapat disunting lebih mudah daripada hidrogen, nilai listrik potensial dari bahan tersebut positif. Potensi kerusakan positif. Namun, jika zat ternyata lebih mudah melakukan reaksi oksidasi dibanding hidrogen, maka harga potensial elektrodanya adalah negatif; dalam ini potensial oksidasinya positif; tetapi karena potensial elektroda harus ditulis reduksi, berarti potensial reduksinya negatif. Elektrolisis potensial ditunjukkan oleh reaksi reduksi (Hamid dkk., 2016).

### **2.3.8 Regenerasi Anoda**

Regenerasi anoda merupakan proses pemulihan kondisi awal anoda dalam sampel elektrokimia, biasanya yang telah mengalami kerusakan atau kehilangan massa akibat reaksi kimia. Proses regenerasi dilakukan untuk meningkatkan ukuran anoda dengan menghilangkan endapan atau lapisan oksida yang tersumbat selama operasi elektrolisis. Hal ini diperlukan agar anoda dapat mempertahankan efisiensi elektrolisis yang optimal dan konfirmasi yang baik (Bard & Faulkner., 2001).

Manfaat proses regenerasi ini adalah untuk mengurangi lapisan pasif, kerak, atau oksida yang mengendap pada permukaan anoda sebagai akibat dari reaksi kimia yang terjadi pada sel elektrolitik. Melalui regenerasi, anoda dapat digunakan

kembali tanpa perlu diganti, mengurangi pengeluaran dan meningkatkan efisiensi operasional. Anoda banyak digunakan di berbagai industri, seperti produksi bubuk logam, bubuk limbah udara, logam pemurnian, dan produk kimia seperti natrium hidroksida dan klorin dengan elektrolisis garam. Karena anoda berinteraksi secara diam-diam dengan perangkat elektronik dan sistem daftar, mereka rentan terhadap korosi dan pembentukan lapisan pengotor yang menghambat reaksi elektrokimia (Pletcher D, 1990).

Regenerasi anoda dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti *electroplating* dan penggunaan bahan yang dapat memperbaiki kondisi anoda, dapat digunakan untuk meregenerasi anoda. Salah satu metode yang banyak dipelajari melibatkan penggunaan larutan *acid zinc* untuk meregenerasi anoda seng (Zn). Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *acid zinc* larutan dengan pH tertentu dapat mempengaruhi oksidasi terlambat dan efisiensi regenerasi anoda seng (Febriani, 2022).

### **2.3.9 Regenerasi Acid Zinc**

Di bidang *elekcropleting* regenerasi *acid zinc* (Zn) menggunakan asam larutan merupakan komponen yang sangat penting. Tujuan dari penggunaan ini untuk menganalisis pengaruh larutan *acid zinc* terhadap korosi dan regenerasi seng pada sel galvanis. Proses regenerasi anoda Zn dilakukan melalui metode *electroplating*, di mana larutan *acid zinc* digunakan sebagai media elektrolit, penggunaan larutan *acid zinc* dengan pH 4 dapat meningkatkan laju plating pada anoda Zn (Febriani, 2022).

Salah satu metode regenerasi *acid zinc* yang sering digunakan dalam industri untuk meningkatkan ketahanan logam adalah *electroplating*. Proses ini biasanya menghasilkan seng lapisan yang rata, memiliki daya rekat yang baik, dan tahan korosi, sehingga sangat cocok digunakan pada komponen perangkat keras, alat berat, dan otomotif lainnya. Namun, ketika larutan digunakan, kinerja larutan pelapisannya menurun karena zat-zat pengotor dan penekanan pada larutan *acid zinc*. Regenerasi *acid zinc* sangat penting untuk memperpanjang umur larutan dan

memastikan kualitas lapisan yang sangat baik. Adapun teknik pada regenerasi umumnya yang digunakan yaitu metode kimia, elektrokimia, dan metode filtrasi. Dalam metode elektrokimia, dilakukan penambahan zat oksidasi untuk menghilangkan zat pengotor, dan bahan kimia yang menjadi pengikat zat tidak diinginkan sehingga dihilangkan dari larutan. metode elektrokimia melibatkan penggunaan arus listrik untuk mengoksidasi atau mereduksi zat pengotor, pada metode ini relatif efisien dalam menghilangkan kontaminan organik tanpa mempengaruhi komposisi utama larutan. Teknik elektrokimia dianggap ramah lingkungan karena tidak memerlukan bahan kimia tambahan yang mungkin menjadi limbah berbahaya. (Zhang & Li, 2021).

### **2.3.10 Elektroplating Ag pada Cu**

Elektroplating, juga dikenal sebagai penyepuhan, adalah proses penggabungan satu logam dengan logam lainnya. Proses pelapisan listrik adalah proses menyelaraskan ion logam dengan ikatan listrik menggunakan elektrolit, menyebabkan ion logam anoda sejajar dengan logam yang akhirnya akan runtuh (katoda). Proses pelapisan listrik, juga dikenal sebagai elektroplating, atau dikenal sebagai penyepuhan, adalah reaksi logam ion yang direduksi dalam sel elektrolit pada elektroda (*katode*), menyebabkan logam memburuk pada elektroda. Komponen sistem pelapisan listrik terdiri dari anoda, katoda, larutan elektrolit. Larutan elektrolit dan listrik searah (DC) harus digunakan dalam proses elektroplating. Fungsi DC listrik arus adalah sebagai energi untuk ion logam perpindahan dan larutan elektrolit sebagai media untuk ion logam media suplai, yang akan menyebabkan endapan (lapisan) logam pada elektroda. Logam ion dapat diproduksi oleh logam anoda dalam elektrolit atau dengan larutan elektrolit (Rasyad & Budiarto, 2018).

Ketika arus listrik berdifusi dari sumber arus antara dua batang elektro dalam larutan elektrolit, logam ion dan oksigen akan habis di anoda, dan gas hidrogen akan dilepaskan pada katoda (Supriadi & Fadlil, 2013). Pergeseran potensial elektrode dari kondisi setimbangnya dapat disebabkan oleh dorongan potensial listrik (*Potential Driving Force*) dari catu daya, sebagaimana reaksi reduksi pada

permukaan katoda. Beda potensial ini dikenal sebagai overpotensial ( $\eta$ ). Segera setelah elektroda terhubung ke baterai, listrik akan beralih dari katoda ke anoda. Selanjutnya, reaksi kemerahan akan terjadi pada logam ion-ion, misalnya,  $Ln^+$  menjadi logam padat yang menimbulkan korosi pada permukaan. Ag dilapisi pada Cu untuk menghasilkan elektroda yang lebih stabil sehubungan dengan fluktuasi permukaan laut. Dalam hal ini, Perak (Ag) adalah anoda (mengalami reaksi oksidasi) dan Cu adalah katoda (mengalami reaksi reduksi) katode (Paunovic & Schlesinger, 1998).

### 2.3.11 Karakteristik Zn (Seng)

Seng berasal dari Zn, yang memiliki nomor atom 30 dan jumlah atom berat 65,39. Logam ini mudah dikeringkan pada suhu 110–150 °C. Seng (Zn) meleleh pada suhu 410 °C dan mengeras pada suhu 906 °C. Seng memiliki kepadatan sekitar 7,14 gram  $gr/cm^3$ . Seng dalam pemanasan tinggi akan menghasilkan endapan yang mirip dengan pasir. Beberapa kimia seng unsur mirip dengan magnesium, ini karena kedua ion unsur memiliki ukuran yang hampir sama. Selain itu, masing-masing dari mereka memiliki oksidasi +2. Pelapisan seng pada baja untuk mencegah perkaratan adalah aplikasi utama seng, terkait permukaan bentuk.

Seng adalah logam yang menekankan karakteristik yang sangat reaktif, seperti putih kebiruan, pudar saat menyentuh uap udara, dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng mampu berinteraksi dengan senyawa, asam, dan basa non-logam. Seng di alam terikat dengan unsur lain yaitu mineral, tetapi dalam bentuk terikat dengan bebas. Mineral yang terdapat dalam air bebas antara lain zinkit, kalaminit, franklinit, smitkosonit, dan willenit (Sugiyarto & Retno, 2010).

Endapan elektrostatis, atau Zn, biasanya digunakan sebagai muatan negatif. Seng, sering dikenal sebagai ion seng, adalah salah satu unsur utama dalam berilium, memiliki nomor atom 30 dan nomor atom berilium 65,39. Seng dalam pemanasan tinggi akan menghasilkan endapan yang sama dengan pasir. Beberapa unsur seng sama dengan unsur-unsur magnesium karena ion dalam dua unsur memiliki

ukuran yang hampir sama. Selain itu, masing-masing dari mereka memiliki oksidasi +2. (Widowati dkk., 2008).

### 2.3.12 Karakteristik Alumina-carbon dan Semen

Aluminium oksida, atau yang juga dikenal dengan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dibagi menjadi dua jenis: alumina hidrat dan alumina anhidrat. Alumina anhidrat dihasilkan dari campuran Bauksit, yang terdiri dari *gibbsite*, *bayerite*, *boehmite*, dan *diaspora*, digunakan untuk membuat alumina hidrat. 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 ( $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) adalah beberapa senyawa aluminium hidroksida yang digunakan untuk membuat alumina anhidrat (Kolo, 2016). ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), juga dikenal sebagai aluminium oksida, adalah salah satu jenis logam ringan polimorfi yang memiliki beberapa struktur kristal, antara lain  $\beta$ -,  $\gamma$ -,  $\delta$ -,  $\theta$ -,  $\kappa$ -,  $\chi$ -, dan  $\alpha$ -alumina, juga dikenal sebagai korundum (Dianita & Pratapa, 2014). Umumnya, alumina digunakan untuk pelapisan, sintesis, karbon anoda, dan matriks komposit (Tok dkk., 2006). Alumina memiliki ketangguhan yang sama dengan baja dan aluminium, memiliki zat yang kuat dan tangguh, dapat menahan suhu setinggi  $1700^\circ\text{C}$ , serta dapat menahan korosi (Dianita & Pratapa, 2014). Korosi alumina rendah disebabkan oleh lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium (Nugroho & Iلمان, 2012). Penggunaan aluminium oksida dalam produksi emas dapat secara signifikan mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dari sistem energi baru. Dengan demikian, semakin tinggi kandungan aluminium oksida yang digunakan dalam polimer yang diperkuat serat kaca, semakin tinggi nilai hasil dan kekerasan polimer (Parkash, 2016).

*Carbon*, juga dikenal sebagai zat arang, adalah unsur tabel periodik dengan simbol C dan angka 6 untuk atom. Seperti unsur golongan 14 pada tabel periodik, karbon adalah unsur non logam dan memiliki nilai 4, artinya ada delapan elektron yang dapat digunakan untuk membuat koalen. Karbon (C) adalah zat yang diserap dari atmosfer melalui proses respirasi fotosintesis dan kemudian diubah menjadi biomassa (Istomo & Farida, 2017). Ada tiga jenis isotop karbon yang dapat

diidentifikasi dengan jelas stabil  $^{12}\text{C}$  dan  $^{13}\text{C}$  dan radioaktif  $^{14}\text{C}$ . Karbon adalah salah satu dari sedikit unsur yang telah diketahui ada sejak awal sejarah manusia. Kata "karbon" berasal dari bahasa Latin "*carbo*" (Lide, 2005). Karbon (C) adalah zat yang diserap dari atmosfer melalui proses respirasi fotosintesis dan kemudian diubah menjadi biomassa (Istomo & Farida, 2017). Ada beberapa jenis karbon, yang paling terkenal adalah grafit, intan, dan carbon amorf. Sifat fisik karbon bervariasi tergantung pada jenisnya (Haaland, 1976).

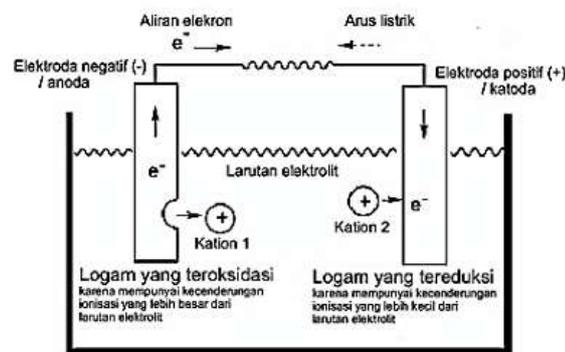
Semen Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif yang dapat mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Semen (Serbuk), kadang-kadang disebut tepung, terbuat dari kapur dan bahan lain yang digunakan untuk membuat beton, menyerupai batu bata, atau bahkan membuat tembok (Fitri dkk., 2011).

### **2.3.13 Korosi**

Korosi adalah proses degradasi, perkembangan teoritis, atau kerusakan material yang disebabkan oleh lingkungan sekitar. Beberapa artikel mengklaim bahwa korosi hanya terjadi pada logam, namun ada juga yang mendefinisikan definisi korosi yang terjadi pada bahan non-logam, seperti keramik, plastik, dan kayu. Sebagai contoh, karat karet kucing karena ujung yang tajam atau bagian logam yang berkarat, menyebabkan lapisan alat yang digunakan dalam pembuatan, atau pemisahan logam padat dari cair (korosi logam cair). Berdasarkan proses elektrokimia, proses korosi pada logam disebabkan oleh kemampuan logam untuk mengalami komposisi kimia yang tidak seragam. Maka akan terjadi perubahan potensi yang dapat mengakibatkan korosi galvanik jika ada komponen elektronik (udara dan air). Bahan dengan potensi lebih tinggi akan menjadi anoda, sedangkan bahan dengan potensi lebih rendah akan menjadi katoda (Amanto & Daryanto, 1999). Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Kemungkinan logam katodik

akan sedikit melorot, atau mungkin tidak sama sekali, ketika kedua logam sejajar (Fontana, 1987).

Korosi tidak dapat dihilangkan tetapi hanya dapat diminimalkan dalam hal pertumbuhannya (Sidiq, 2013). Tingkat kerusakan sangat tergantung pada berbagai faktor, karena lapis oksida dapat mempengaruhi potensi elektroda lain yang akan berbeda secara signifikan jika tidak sekuat oksida. Ada dua reaksi yang terjadi selama proses korosi yaitu reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam kasus bahan anoda, akan ada kebocoran elektron selama reaksi oksidasi. Sebaliknya, reaksi reduksi adalah penerapan elektron ke zat yang lebih katodik (Mulyono, 2017).



**Gambar 2.6** Proses Korosi Secara Galvani (Mulyono, 2017)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2024 sampai Januari 2025. Perancangan dan pembuatan alat dan pengambilan data dilakukan di Ruang Workshop Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

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

**Tabel 3.1** Alat Penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Gerinda	Memotong separator, <i>acrylic</i>
2	Gunting	Memotong seng, kawat dan tembaga
3	Timbangan Digital	Menimbang massa bahan separator dan massa elektroda
4	Filter Air	Menyaring air laut
5	Gelas Beker	Mengukur volume air laut
6	Baskom	Wadah adonan separator
7.	<i>Power Supply</i>	Sumber tegangan saat elektroplating
8.	Multimeter	Mengukur tegangan, dan hambatan
9.	<i>Stopwatch</i>	Mencatat waktu
10.	Penggaris	Mengukur dimensi elektroda, dan sel
11.	Solder	Menghubungkan kabel antar elektroda
12.	Kamera	Mengambil gambar penelitian
13.	Pompa Galon Elektrik	Mengganti air laut
14.	Gelas Ukur	Mengukur volume larutan
15.	Kabel Buaya	Media penghubung elektroda
16.	Pipet Tetes	Mempermudah pemindahan larutan
17.	Arduino ATmega-2560	Mengukur suhu dan cahaya

Adapun bahan yang digunakan pada Penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2** sebagai berikut.

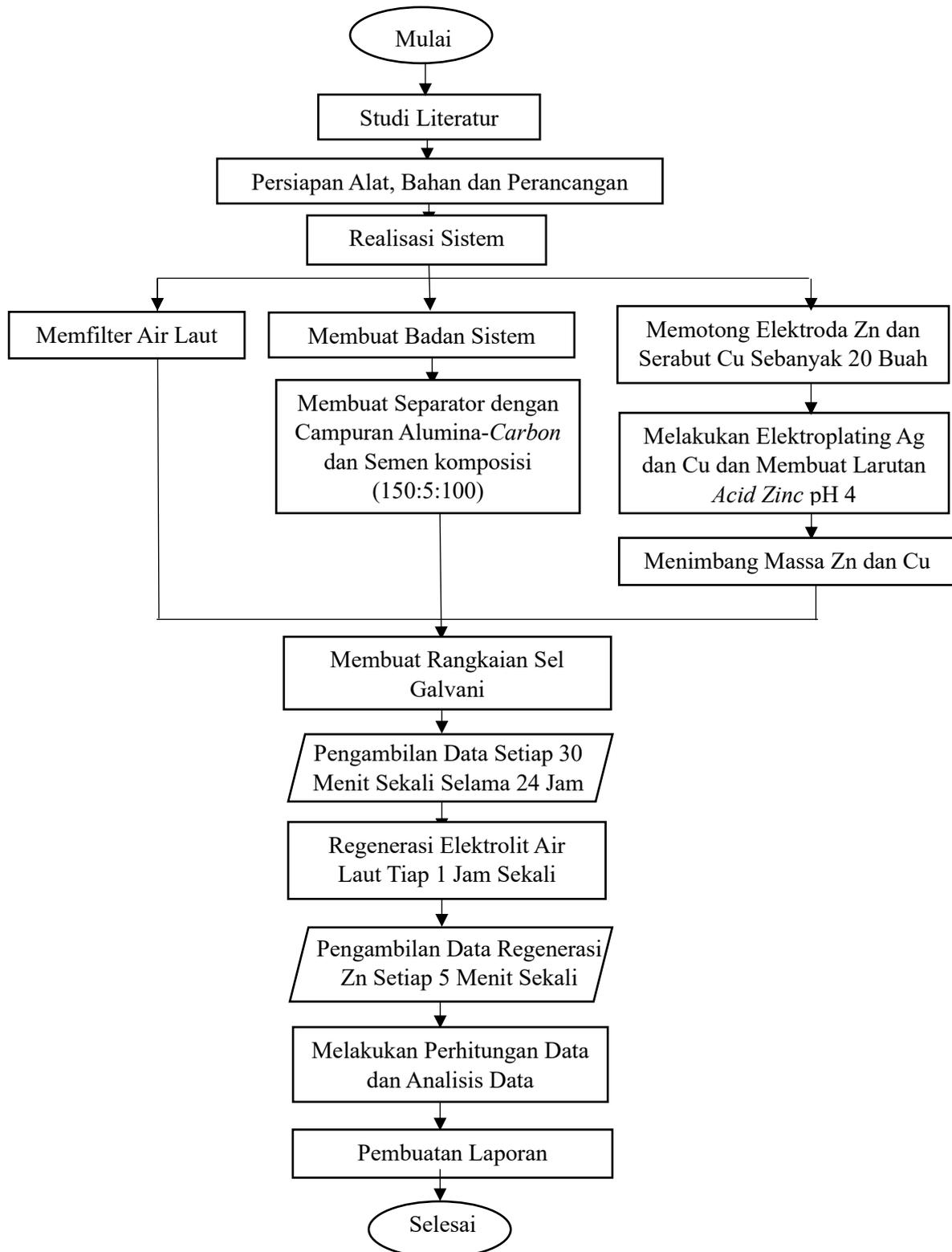
**Tabel 3.2** Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	Keramik	Sebagai cetakan separator
2.	<i>Acrylic</i>	Sebagai wadah sel galvanik
3.	Serabut Cu	Sebagai katoda
4.	Lempengan Zn (2,5x5 cm)	Sebagai anoda
5.	Alumina, Carbon, Semen	Sebagai bahan pembuatan jembatan garam
6.	Aquades	Untuk mengencerkan larutan sepuh dan larutan <i>acid zinc</i>
7.	NH <sub>4</sub> Cl dan ZnCl <sub>2</sub>	Untuk membuat larutan <i>acid zinc</i>
8.	Kawat Kasa	Sebagai penyangga di dalam separator
9.	Air Laut, <i>Acid Zinc</i>	Sebagai elektrolit
10.	Larutan sepuh perak AgNO <sub>3</sub>	Untuk melapisi tembaga (Cu)
11.	20 buah lampu LED	Sebagai beban untuk menguji energi listrik dari alat
12.	Plastik Warp	Untuk membungkus separator
13.	Lem Korea dan Sunpolac	Untuk merekatkan wadah sel galvanik berbahan akrilik dan merekatkan separator
14.	Larutan HNO <sub>3</sub> 1%	Sebagai pembersih logam Cu sebelum proses elektroplating
15.	Etanol 98%	Sebagai pembersih logam Cu setelah dibersihkan dengan larutan HNO <sub>3</sub>
16.	<i>Steroform</i>	Sebagai penyangga lempengan Zn menyentuh permukaan jembatan garam
17.	Kertas pH universal	Untuk mengecek pH larutan

### 3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu regenerasi elektroda Zn sel elektrokimia dengan separator yang terbuat dari alumina-carbon dan semen menggunakan anolid *acid zinc* pH 4. Prosedur yang dilakukan penelitian ini terdiri dari atas 6 tahap yaitu tahap perancangan dan pembuatan sistem sel galvanik, tahap pembuatan separator menggunakan alumina-carbon dan semen dengan campuran air laut, tahap elektroplating Cu(Ag), tahap pembuatan larutan *acid zinc*,

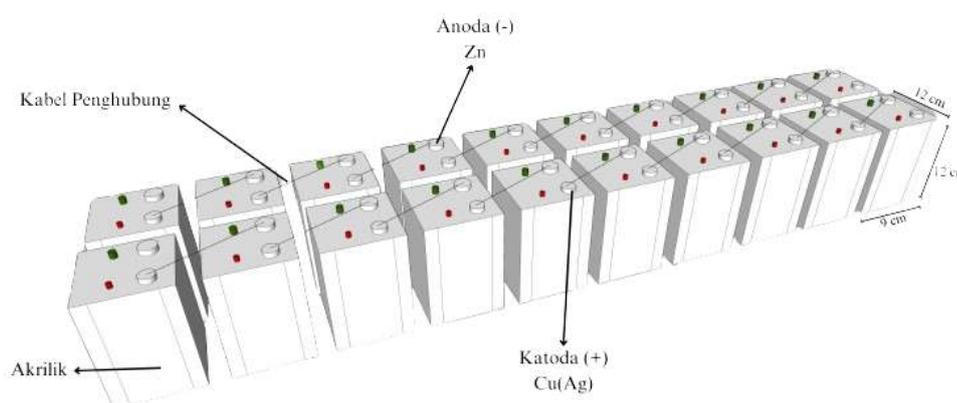
pengambilan data dan metode analisis data. Secara umum prosedur penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



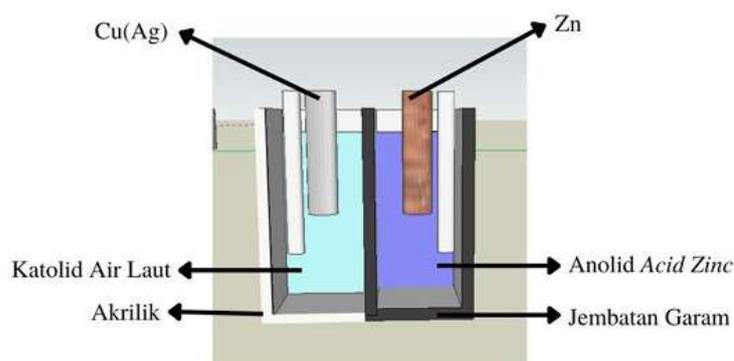
**Gambar 3.1** Diagram Alir

### 3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem Sel galvani

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah perancangan dan pembuatan sistem energi terbarukan yaitu sel galvani yang tersusun dari 20 buah sel berbahan akrilik. Di setiap sel memiliki panjang 12 cm, lebar 9 cm, dan tinggi 12 cm. Berikut adalah desain sel galvani pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Desain 20 Sel galvani



**Gambar 3.3** Desain Sel Galvani (bagian dalam) ( Syaima, 2023)

Tujuan dari desain sel galvani separator yang berbentuk seperti wadah ”bak” tersebut yaitu untuk mengurangi adanya kebocoran tingkat tinggi larutan elektrolit yang berada didalamnya. Setiap sel galvani berisi sepasang elektroda Cu(Ag)-Zn yang dibatasi dengan separator. Separator ini terbuat dari campuran alumina, *carbon* dan semen yang dilarutkan dengan air laut. Separator yang dibuat dalam

penelitian ini dibuat dengan variasi campuran antara alumina, *carbon* dan semen yaitu komposisi separator 150:5:100. Elektrolit yang digunakan pada sel galvani yaitu air laut yang sudah proses penyaringan menggunakan filter air sehingga tidak ada partikel 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 100 ml air laut dan anolid yang digunakan anoda Zn berisi 200 ml larutan *acid zinc*. Elektrolit air laut yang digunakan pada setiap sel diganti setiap 1 jam sekali.

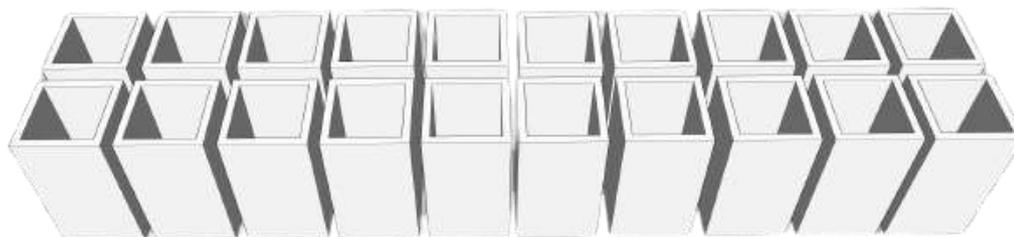
### 3.3.2 Pembuatan Separator

Tahap kedua dari penelitian ini yaitu pembuatan separator. Separator dibuat dari campuran alumina, *carbon*, semen dan air laut dengan perbandingan massa semen dan karbon yang pertama komposisi separator 150:5:100. Prosedur pembuatan separator terdiri dari tiga langkah. Langkah pertama yaitu penimbangan massa bahan yang akan digunakan alumina sebesar 150 gram, *carbon* 5 sebesar 5 gram dan semen 100 gram dengan air laut 550 mL.

Langkah kedua yaitu dicampurkan air laut, alumina, *carbon* dan semen sesuai dengan ukuran yang ditentukan, kemudian ketiga bahan tersebut diaduk hingga rata sampai adonan mencapai kekentalan yang diperlukan. Kemudian dicetak adonan separator tersebut ke atas keramik yang telah dibersihkan, pencetakan melalui tiga proses, pertama lapisan tipis awal, kedua peletakan kawat kasa dan yang terakhir pelapisan tebal hingga menutupi kawat. Setelah itu, separator dikeringkan selama 2-3 hari tergantung kondisi cuaca sampai mengeras dan dilakukan pengecekan untuk memastikan apakah lapisan yang belum sempurna menutupi kawat kasa.

Langkah ketiga yaitu proses pemisahan separator yang sudah mengeras dengan keramik (cetakannya). Selanjutnya proses pemotongan separator menggunakan gerinda dengan perbandingan 10:4 dan 5:5, kemudian ditempelkannya menggunakan *sunpolac* dan lem korea hingga berbentuk separator dan tidak ada celah atau rongga. Setelah itu, separator dikeringkan selama 1 hari 1 malam sampai

mengeras dan dilakukan pengecekan untuk memastikan apakah terdapat kebocoran pada separator atau tidak. Berikut adalah desain separator pada penelitian ini pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Desain 20 Separator

### 3.3.3 Proses Elektroplating Ag dan Cu

Proses *electroplating* Ag pada Cu dengan menggunakan larutan ( $\text{AgNO}_3$ ) sebanyak 100mL dan akuades sebanyak 900 mL. Katoda yang digunakan dalam proses ini adalah serabut Cu dan anoda yang digunakan yaitu *carbon*. Sebelum proses *electroplating*, serabut Cu dibersihkan terlebih dahulu dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1%. Setelah dibersihkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$ , kemudian serabut Cu dibersihkan kembali menggunakan etanol 96%. Proses *electroplating* ini dilakukan dengan tegangan sebesar 2 volt selama 5 menit. Tegangan yang diberikan berasal dari *power supply*.

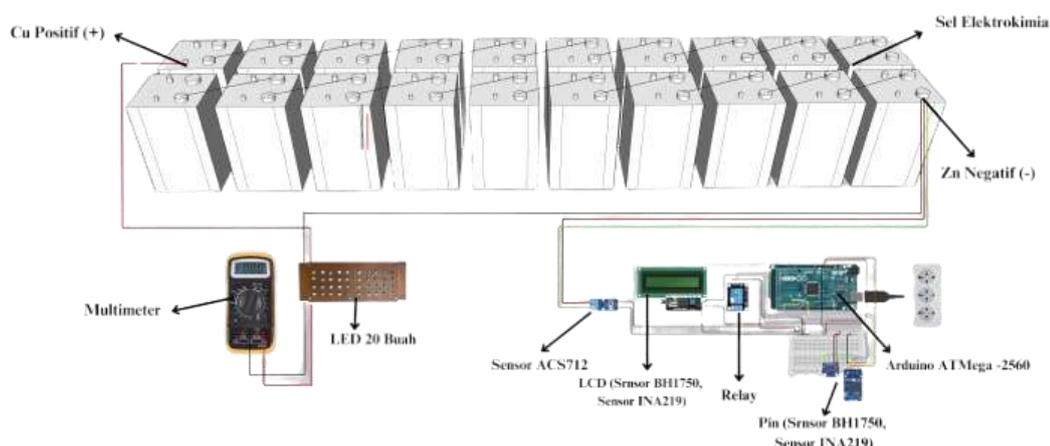
### 3.3.4 Proses Pembuatan Larutan *Acid Zinc*

Proses pembuatan *acid zinc* yaitu dengan dicampurkan ammonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 27 gram, zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) 68 gram serta akuades sebanyak 1 liter dan untuk menurunkan pH larutan dengan ditambahkan larutan asam klorida ( $\text{HCl}$ ). Setelah itu, untuk mengecek pH pada larutan menggunakan kertas pH universal.

Pada penelitian ini menggunakan larutan pH 4. Larutan dengan campuran  $\text{NH}_4\text{Cl}$  54 gram,  $\text{ZnCl}_2$  172 gram, 3 liter aquades ditambah larutan asam klorida ( $\text{HCl}$ ) sebanyak 22 tetes.

### 3.3.5 Prosedur Pengambilan Data

Tahap pengujian alat dilakukan untuk melihat keluaran yang dihasilkan dari sel elektrokimia dan regenerasi dari anoda Zn menggunakan sistem alat arduino ATmega-2560 untuk melihat besar arus dan cahaya. Prosedur yang dilakukan seperti menghubungkan separator yang telah terpasang dengan beban LED. Lampu LED diletakan dalam tempat tertutup untuk menghindari gangguan cahaya dari luar saat pengambilan data penelitian. Data yang diambil dalam penelitian ini yaitu besar besar tegangan tanpa beban ( $V_o$ ), tegangan saat beban dipasang ( $V_b$ ) yang terukur dalam satuan Volt menggunakan multimeter, kuat arus ( $I$ ) listrik yang dihasilkan yang terukur dalam satuan mA, dan intensitas cahaya (Cd) yang dihasilkan dari 20 lampu LED yang terukur dalam arduino ATmega-2560. Selain itu, melakukan regenerasi pada Zn dan menimbang massanya sebelum dan sesudah diregenerasi. Alat penelitian yang digunakan untuk pengambilan data yaitu multimeter, arduino ATmega-2560, dan *stopwatch*. Data pengamatan diambil 30 menit sekali selama 24 jam dengan pergantian elektrolit air laut 1 jam sekali secara manual dengan durasi waktu 10 menit. Desain Pengujian alat pada **Gambar 3.5**.



**Gambar 3.5** Desain Pengujian Sel Galvani

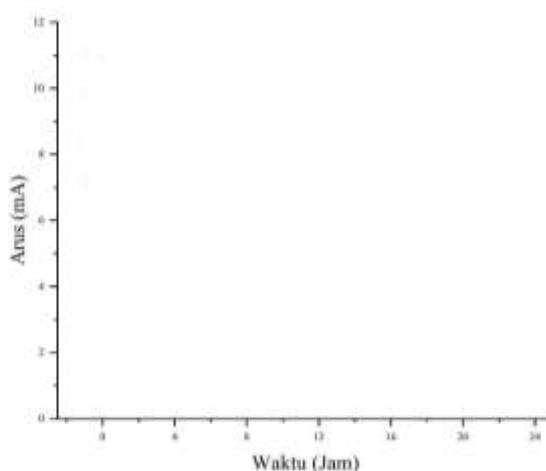
### 3.3.6 Metode Analisis Data

Penelitian ini juga dilakukan analisis data pengamatan dan hasil perhitungan yang diperoleh. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengukuran hubungan antara arus, tegangan, dan intensitas cahaya dengan menggunakan beban tambahan yaitu LED 20 buah dan mengetahui pengukuran hubungan antara arus, tegangan, yang tidak menggunakan beban tambahan ( $V_b$ ) yaitu LED 20 buah, serta memperoleh hambatan listrik terhadap waktu (jam) tiap pengukuran terhadap memakai beban LED ( $V_b$ ) ataupun tidak memakai beban LED ( $V_o$ ). Berikut ini merupakan Tabel data pengamatan dan grafik rancangan analisis data menggunakan beban tambahan cahaya ( $V_b$ ) yang ditunjukkan pada **Tabel 3.3** dan **Gambar 3.6**, **Gambar 3.7**, **Gambar 3.8**, **Gambar 3.9**.

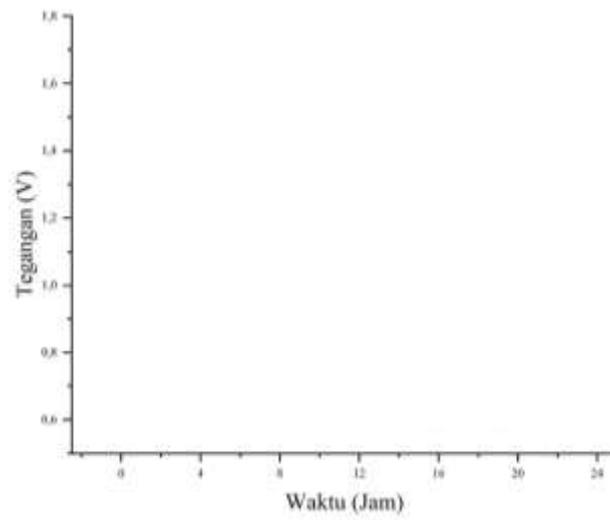
Penggunaan air laut sebagai katolid sebanyak 100 mL dan larutan *acid zinc* sebanyak 200 mL dengan konsentrasi pH 4 sebagai anolid serta salinitas air laut sebesar 36 ‰.

**Tabel 3.3** Data Pengamatan Menggunakan Beban LED ( $V_b$ )

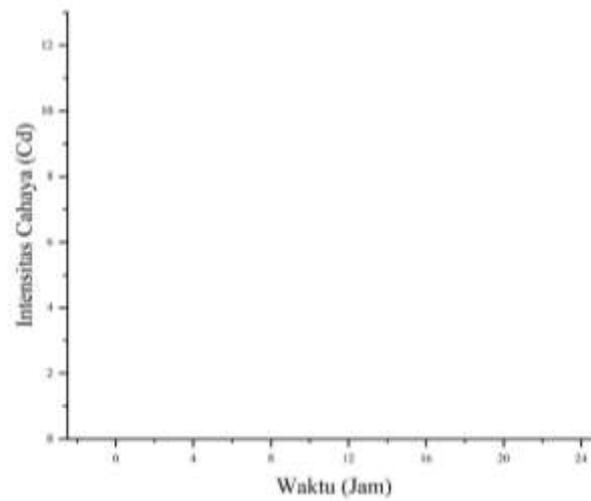
Waktu (jam)	Arus (I) (mA)	Tegangan (V)	Intensitas Cahaya (Cd)	Hambatan ( $k\Omega$ )
1				
2				
....				
....				
24				



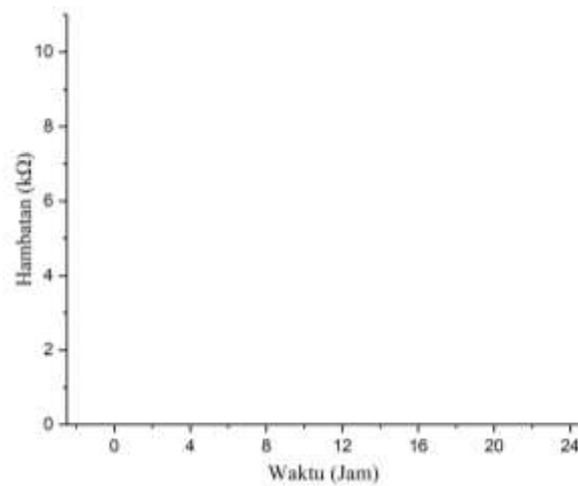
**Gambar 3.6** Grafik Pengukuran Arus (mA)



**Gambar 3.7** Grafik Pengukuran Tegangan (V)



**Gambar 3.8** Grafik Pengukuran Intensitas Cahaya (Cd)

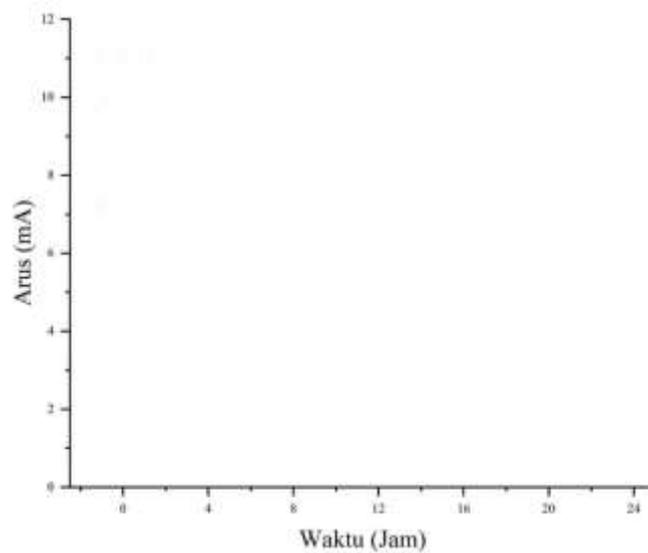


**Gambar 3.9** Grafik Pengukuran Hambatan (k $\Omega$ )

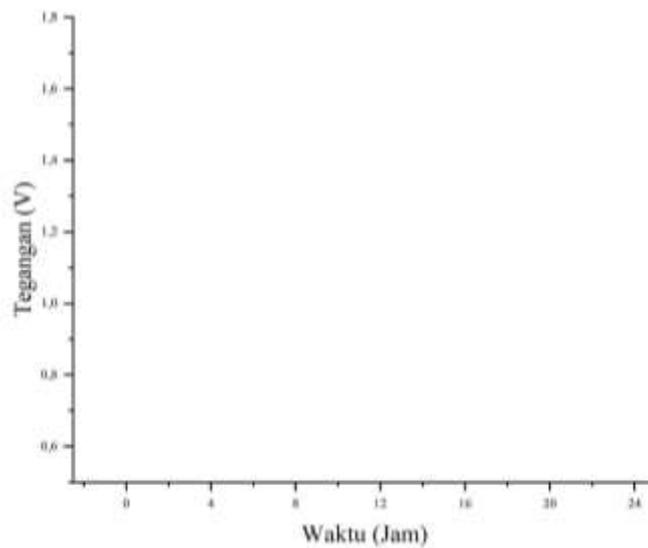
Adapun Tabel Data Pengamatan dan Grafik rancangan analisis data tanpa menggunakan beban tambahan cahaya ( $V_o$ ) yaitu LED 20 buah yang ditunjukkan pada **Tabel 3.4** dan **Gambar 3.10**, **Gambar 3.11**, **Gambar 3.12**.

**Tabel 3.4** Data Pengamatan Tanpa Menggunakan Beban LED ( $V_o$ )

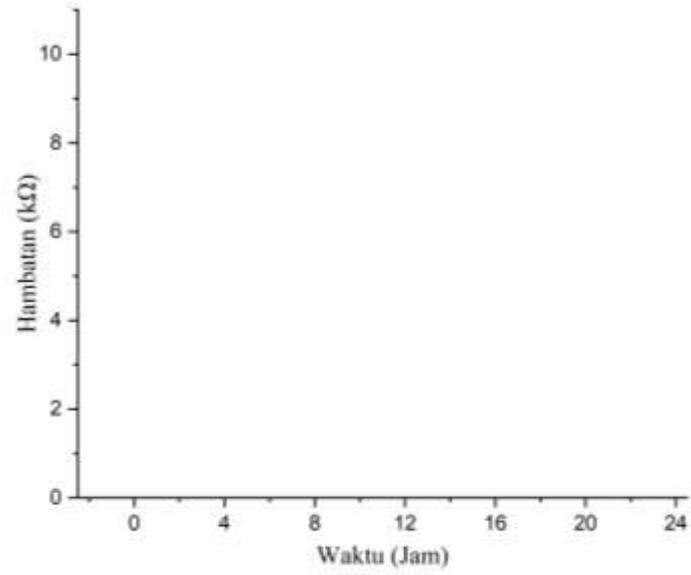
Waktu (jam)	Arus (I) (mA)	Tegangan (V)	Hambatan ( $k\Omega$ )
1			
2			
....			
....			
24			



**Gambar 3.10** Grafik Pengukuran Arus (mA)



**Gambar 3.11** Grafik Pengukuran Tegangan (V)



**Gambar 3.12** Grafik Pengukuran Hambatan (kΩ)

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

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

1. Elektroda Zn berhasil regenerasi sempurna terjadi pada menit ke-10 secara konstan yaitu kembali kemassa awal sebesar 6 gram.
2. Penggunaan anolid *acid zinc* pH 4 berpengaruh terhadap uji karakteristik elektrik dan memiliki arus tertinggi pada 30 menit pertama sebesar 10,8 mA dan tegangan tertinggi sebesar 1,71 V ( $V_b$ ) dan 1,75 V ( $V_o$ ).

### 5.2 Saran

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

1. Menambah variasi waktu pengamatan sel gavanii untuk mengetahui durasi pemakaian elektroda Zn pada proses regenerasi.
2. Menambah volume larutan *acid zinc* untuk meningkatkan nilai hasil regenerasi terhadap elektroda Zn.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, C.Y. & Bagastyo, A.Y. 2015. Proses Pengolahan Lindi dengan Metode Elektrolisis. (September): 131–138.
- Adriani. 2020. *Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik. Vertex Elektro*, 12(02), 22-33.
- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan. Bumi Aksara*. Jakarta.
- 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.
- Ansari, I., Indrawijaya, B., Nurohmawati, F., & Zakaria, I. (2017). Pengaruh Waktu dan Luas Permukaan terhadap Ketebalan Produk Pada Elektroplating ACID ZINC. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(1).
- Anwar, S. (2021). *Analisis tipe dan konsentrasi jembatan garam pada karakteristik elektrik pembangkit listrik berbahan elektrolit air laut*.
- Bard, A. J., Faulkner, L. R., & White, H. S. (2022). *Electrochemical methods: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.
- 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>.
- Chiang, Y. H., Sean, W. Y., & Ke, J. C. 2011. Online estimation of internal resistance and open-circuit voltage of lithium-ion batteries in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 196(8), 3921-3932.

- Fariya, S., & 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*, 10(1), 44-58.
- Febriani, N. F. 2022. *Regenerasi Anoda Zn Dengan Larutan Acid Zinc Ph 4 Pada Sel Volta Dua Kompartemen  $Zn| Zn^{2+} (Aq)|| Ag^+| Cu (Ag)$  Berbahan Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan.*
- 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.
- Fontana, M. G. 1987. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- Haaland, D. 1976. *Graphite-liquid-vapor triple point pressure and the density of liquid carbon*. Carbon 14 (6): 357.
- 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).
- Haris, A., Widodo, D. S., & Yuanita, L. 2007. Pengambilan Tembaga Dari Batuan Bornit ( $Cu_5FeS_4$ ) Variasi Rapat Arus dan Pengompleks EDTA Secara Elektrokimia. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 10(2), 31-36.
- 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.
- Herdiadi, M. 2019. *Analisa Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid terhadap Ketebalan, Kekuatan Lekat, dan Ketahanan Korosi Baja AISI 1020 dengan Metode Elektroplating* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Irsan, I., Supriyanto, A., & Surtono, A. 2017. Analisis Karakteristik Elektrik Limbah Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif Terbarukan Untuk Mengisi Baterai Handphone. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 9-18.

- Istomo, dan Farida, N. E. 2017. Potensi Simpanan Karbon di Atas Permukaan Tanah Tegakan *Acacia nilotica* L. (Willd) ex. Del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. Vol. 7, No. 2, Hal. 155–162.
- Jauharah, W. D. 2013. *Analisis Kelistrikan Yang Dihasilkan Limbah Buah Dan Sayuran Sebagai Energi Alternatif Bio-Baterai*. Universitas Jember.
- Kolo, M. M. 2016. *Sintesis Nanopartikel Aluminium Oksida dengan Metode Elektrokimia*. Institut Teknologi Sumatera.
- Lide, D.R. 2005. *CRC Handbook of Chemistry and Physics (ed. ke-86)*. Boca Raton. CRC Press.
- Malau, N. D., & Sianturi, M. 2017. Analisa Separator 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.
- 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. Surabaya. *Skripsi: 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.
- 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>.

- Paunovic, M. dan Schlesinger, M. 1998. *Fundamentals of Electrochemical Fabrication*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pauzi, A. G., & Wicaksana, B. 2020. Analisis Pemanfaatan Joule Thief Tipe Toroida Pada Sel Volta Menggunakan Elektroda (Cu (Ag)-Zn) Berbahan Elektrolit. *Jurnal Fisika Indonesia*, 24(1), 7-10.
- Pauzi, G. A., Abi Nisa, M., 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*, 83-92.
- Pauzi, G. A., Anjarwati, A., Samosir, A. S., Sulistiyanti, S. R., & Simanjuntak, W. (2019). Analisis pemanfaatan jembatan garam KCl dan NaCl terhadap laju korosi elektroda Zn pada sel volta menggunakan air laut sebagai elektrolit. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 4(02), 50-58.
- Pauzi, G. A., Hudaya, E., Supriyanto, A., Warsito, W., & Surtono, A. 2019. Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbaru. In *Prosiding Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika dan Aplikasinya* (Vol. 4, No. 3).
- 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*, 3(1).
- Pletcher, D., & Walsh, F. C. 2012. *Industrial electrochemistry*. Springer Science & Business Media.
- Prastuti, Okky Putri. 2017. Pengaruh Komposisi Air Laut dan Pasir Laut Sebagai Sumber Energi Listrik. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. Vol. 1, No. 1, Hal. 35-41.
- Putri, A. R., & Maruf, A. 2018. Energi alternatif dengan menggunakan reaksi elektrokimia. *Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika*, 3, 62-68.
- Rahmawati, F. 2013. *Elektrokimia Transformasi Energi Kimia-Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- 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), 173182. <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*. 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. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(2), 156–162.
- Sani, A., & Prasetya, D. A. 2018. *Analisa Baterai Air Asin dengan Elektroda Tembaga dan Aluminium*. Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Santika, J. 2022. *Analisis Pemanfaatan Separator 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*.
- Sasono, E. J. 2010. *Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium pada Pelat Baja Kapal AISI 2512 terhadap Laju Korosi di dalam Media Air Laut*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Setiyana, 2020. *Modul pembelajaran SMA kimia kelas XII: sel volta dan aplikasinya dalam kehidupan*. [Teaching Resource].
- Shavira, M. 2023. *Analisis Pemanfaatan Variasi Konsentrasi Alumina Dan Carbon Dalam Separator Pada Sel Elektrokimia  $Zn|Zn^{2+}(Aq)||Ag^+(Aq)|Cu(Ag)$  Dengan Elektrolit Air Laut Dan Acid Zinc Sebagai Sumber Energi Alternatif*.
- 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.
- Sugiyarta, S. (2012). *Pengaruh Kuat Arus Dan Konsentrasi Larutan Elektrolit Terhadap Ketebalan Pada Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah* (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Undip).
- Sugiyarto, K. H., dan Retno, D. S. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Supomo, H. 2003. *Buku Ajar Korosi*. Jurusan Teknik Perkapalan ITS.

- Supriadi, H., dan Fadlil, K. 2013. Pengaruh Rapat Arus Dan Temperatur Elektrolit Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Efisiensi Katoda Pada Elektroplating Tembaga Untuk Baja Karbon Sedang. *Jurnal Mechanical*. Vol. 4, No. 1, Hal. 30-37.
- Syaima, C. 2023. *Perancangan Sel Elektrokimia Air Laut Dengan Anoda Yang Dapat Diregenerasi Menggunakan Anolid Acid Zinc Dan Separator Campuran Alumina Dan Semen*.
- Syawalain, M. A. R., Yohana, Y., & Kahar, A. 2019. Pengaruh kuat arus dan tegangan terhadap perubahan kandungan logam pada lindi TPA sampah dengan metode elektrolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(1), 6-10.
- Theodore L, Brown and Eugene, Lemay H. 2015. *Chemistry The Central Science (13th edition)*. Person Education, Inc. New Jersey.
- 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.
- Wibowo, A. 2016. Analisis Sifat Korosi Galvanik Berbagai Plat Logam di Laboratorium Metalurgi Politeknik Negeri Batam. *Jurnal Intergrasi*, 08(02), 144-147.
- 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>.
- Widowati, W. Astiana Sastiono dan Raymond Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta.
- Yaswir, R., & Ferawati, I. 2012. Fisiologi dan gangguan keseimbangan natrium, kalium dan klorida serta pemeriksaan laboratorium. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 1(2).
- 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, NTT [Potential energy of ocean current for electric power generation in coastal areas of East Flores, NTT]. *J Tropical Marine Science and Technology*, 3(1), 13-25.
- Yunus, A. 2011. Korosi logam dan pengendaliannya; artikel review. *Jurnal Polimesin*, 9(1), 847-852.

Zhang, Y., & Li, X. 2021. Electrochemical Regeneration of Acid Zinc Plating Solution: A Sustainable Approach. *Journal of Electrochemical Engineering*, 48(6), 345-355.