

**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**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**NINDYA FAJRINA FEBRIANI**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## ABSTRAK

### **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**

Oleh

**Nindya Fajrina Febriani**

Penelitian dilakukan untuk menganalisis pengaruh waktu dan arus terhadap pertambahan massa anoda Zn pada pasangan elektroda Cu(Ag)-Zn dalam sistem sel volta. Penelitian ini difokuskan untuk meregenerasi anoda Zn menggunakan metode elektroplating untuk menghasilkan nilai laju plating anoda Zn yang telah digunakan dalam kurun waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Elektroplating dalam penelitian ini menggunakan permukaan konduktif sebagai bahan pelapis berupa jembatan garam. Jembatan garam yang digunakan memiliki variasi campuran Karbon,  $Al_2O_3$  dan air laut yang terlarut dalam semen. Senyawa kimia yang digunakan dalam proses elektroplating adalah *acid zinc*. Pengambilan data dengan metode elektroplating dilakukan selama 5 menit dan 10 menit. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa semakin tinggi arus dan semakin lama waktu yang digunakan dalam proses elektroplating akan meningkatkan nilai perubahan massa logam Zn sehingga laju plating Zn yang dihasilkan menjadi semakin tinggi. Regenerasi anoda Zn yang memiliki pertambahan massa tertinggi dihasilkan dari penggunaan arus sebesar 12 mA, dan pertambahan massa terendah dihasilkan dari penggunaan arus sebesar 3 mA. Regenerasi terhadap anoda Zn yang menggunakan jembatan garam dengan massa karbon sebesar 15 gr mampu menghasilkan laju plating yang cepat dibandingkan dengan anoda Zn lainnya.

Kata Kunci: *Acid zinc, elektroplating, jembatan garam, laju korosi, sel volta*

## ABSTRACT

### **Zn ANODE REGENERATION WITH pH 4 ACID ZINC SOLUTION IN TWO COMPARTMENT VOLTAGE CELL $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}||\text{Ag}^+|\text{Cu}(\text{Ag})$ SEAWATER IS MADE AS AN ALTERNATIVE RENEWABLE ENERGY SOURCE**

By

**Nindya Fajrina Febriani**

The research was conducted to analyze the effect of time and current on the mass increase of the Zn anode on the Cu(Ag)-Zn electrode pair in the voltage cell system. The research focuses on the regeneration of the Zn anode using the electroplating method to produce Zn anode plating rate values that have been used for 24 hours, 48 hours, and 72 hours. Electroplating in this research uses a conductive surface as a coating material in the form of a salt bridge. The salt bridge contains a mixture of Carbon,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and seawater dissolved in cement. The chemical compound used in the electroplating process is zinc acid. Data acquisition with the electroplating method carries for 5 minutes and 10 minutes. The research results concluded that the higher the current and the longer the time used in the electroplating process, the value of the change in the mass of Zn metal will increase until the resulting rate of Zn plating becomes higher. The regeneration of the Zn anode with the highest mass gain resulted from applying a current of 12 mA, and the lowest mass gain resulted from applying a current of 3 mA. The regeneration of the Zn anode using a salt bridge with a carbon mass of 15 g can produce a fast plating rate compared to other Zn anodes.

*Keywords: Acid zinc, corrosion rate, electroplating, salt bridge, voltaic cells*

**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**

Oleh

*NINDYA FAJRINA FEBRIANI*

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

Judul Skripsi : **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**

Nama Mahasiswa : **Nindya Fajrina Febriani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041003**

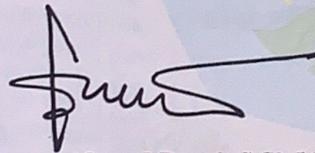
KBK : **Instrumentasi**

Program Studi : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

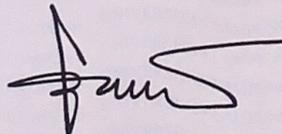


**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si, M.T.**  
NIP. 198010102005011002



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

2. Ketua Jurusan Fisika

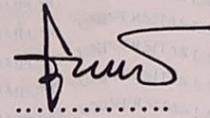


**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

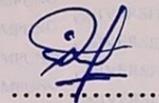
**Ketua : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si, M.T.**



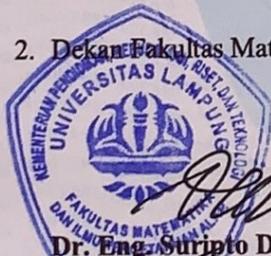
**Sekretaris : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Sri Wahyu Suciyati, S.Si, M.Si.**



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



**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**  
**NIP. 197407052000031001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Oktober 2022**

## PERNYATAAN

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

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 12 Oktober 2022



**Nindya Fajrina Febriani**  
NPM. 1817041003

## RIWAYAT HIDUP



Penulis skripsi ini bernama Nindya Fajrina Febriani, lahir di Jakarta Pada tanggal 10 Februari 2000. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara dari pasangan Bapak Edi Zulqurnaidy dan Ibu Rina Virgina. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Jatiasih X tahun 2012, SMPN 4 Bekasi tahun 2015, SMA Martia Bhakti tahun 2018. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SNPMTN tahun 2018.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif tergabung Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai Anggota Bidang Minat dan Bakat periode 2018-2021 dan sebagai Anggota Dinas Advokasi Kesejahteraan Mahasiswa BEM FMIPA UNILA tahun 2019. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Elektronika Dasar II dan praktikum Elektronika.

Penulis telah melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) Tangerang Selatan. Penulis melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata Universitas Lampung tahun 2021 di Harapan Baru, Kota Bekasi. Penulis telah menyelesaikan penelitian skripsi di Jurusan Fisika dengan Judul **“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”**

## *MOTTO*

*“Mundur selangkah untuk melompat lebih jauh”*

*“Dream, Plan, and Do. Try a liittle harder to be a little better”*

*“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah”*

*(QS. Ghafir: 44)*

*“Sesungguhnya jika kamu bersyukur maka Allah akan menambah (nikmat) kepadamu”*

*(QS. Ibrahim: 7)*

## PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini untuk semua orang yang ku sayangi dan ku cintai

*Alm. Bapak Edi Zulqurnady dan Almh. Ibu Rina  
Virginia*

Kedua orang tuaku yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, serta menjadi penyemangat aku dalam menjalani hidup selama ini

*Nadia Julia dan Rob Faranda*

Kakakku tersayang yang telah memberikan semangat dan dukungan kepadaku sehingga membuat aku mampu menyelesaikan pendidikan S1

*Bapak Ir. Eddy Sutrisna dan Ibu Nia  
Kurnianingrum*

Terimakasih untuk semua yang telah kalian lakukan, baik do'a, motivasi dan kehangatan sehingga aku mampu menjalani hidup dengan penuh rasa bersyukur

*Bapak/Ibu Dosen Fisika FMIPA UNILA*

Terimakasih telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepadaku

Serta almamater tercinta  
*"Universitas Lampung"*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Regenerasi Anoda Zn Dengan Larutan Acid Zinc pH 4 Pada Sel Volta Dua Kompartemen Zn|Zn<sup>2+</sup><sub>(aq)</sub>||Ag<sup>+</sup>|Cu(Ag) Berbahan Air Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan”**. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sehingga dapat menjadi perbaikan untuk kekurangan dalam skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat, menambah wawasan literasi keilmuan, serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya agar lebih baik dan sempurna.

Bandar Lampung, 12 Oktober 2022

Penulis

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan atas karunia yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wa ta'ala sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “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”. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, tenaga, bimbingannya dan nasihat dalam penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, waktu dan motivasi serta arahan dalam penelitian dan penulisan skripsi.
3. Ibu Sri Wahyu Suciyati, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan saran dan koreksi sehingga penulisan skripsi ini dapat menjadi lebih baik.
4. Ibu Suprihatin, S.Si., M.Si. selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat dan motivasi.

5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen Jurusan Fisika atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menjadi mahasiswa di Universitas Lampung. Para staff dan karyawan Jurusan Fisika yang telah membantu memenuhi kebutuhan administrasi penulis.
7. Paman dan Bibi Bapak Ir. Eddy Sutrisna dan Nia Kurnianingrum yang selalu memberi semangat, dan kasih sayang kepada penulis.
8. Kakak-kakakku Nadia Julia, Rob Faranda, Anggita Muslimah M.P.S, Dhyrana Shaila Armani dan Shabirah Ghassani Salsabila yang selalu memberikan motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Rekan Penelitian, Yola Dinda Ayu Pratama, Juana Santika, Herlambang Sihombing, I Made Agus dan Intan Widyaningrum yang saling memberi semangat dan selalu membantu dalam setiap kesempatan.
10. Sahabat seperjuangan semasa kuliah, Raihan Irvana. Terima kasih selalu memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi untuk menjalani kehidupan di kampus maupun di luar kampus.
11. Sahabat-sahabatku yang sangat berhati baik, Hanifah, Pramasitha, Tirana, Rahma dan Novia. Terima kasih untuk kebaikan dan bantuan kalian.
12. Keluarga besar Himafi yang telah memberikan pengalaman luar biasa.
13. Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi penulis.

Bandar Lampung, 12 Oktober 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	vii
<b>MOTTO</b> .....	ix
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>SANWACANA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5

## II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terkait .....	6
2.2. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya .....	10
2.3. Elektrokimia .....	11
2.4. Sel Volta .....	12
2.5. Sel Elektrolisis .....	14
2.6. Elektrolit .....	14
2.7. Korosi .....	15
2.8. Elektroplating .....	16
2.9. Pangkat Hidrogen (pH) .....	19
2.10. Karakteristik Air Laut .....	20
2.11. Karakteristik Fisik Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Perak Ag .....	20
2.12.1 Karakteristik seng (Zn) .....	20
2.12.2 Karakteristik tembaga (Cu) .....	21
2.12.3 Karakteristik perak (Ag) .....	22

## III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	23
3.3. Prosedur Penelitian .....	24
3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem .....	26
3.3.2 Pembuatan Jembatan Garam .....	26
3.3.3 Proses Elektroplating Ag pada Cu .....	27
3.3.4 Pembuatan Larutan <i>Acid Zinc</i> .....	28
3.3.5 Pengujian Sistem dan Pengambilan Data .....	28
3.4. Metode Analisis Data .....	30

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Sistem Sel Volta dan Regenerasi Anoda Zn .....	32
4.2 Hasil Penelitian .....	34
4.2.1 Pengukuran Arus Jembatan Garam .....	34
4.2.2 Pengukuran Arus Sel Volta .....	34
4.2.3 Data Pengamatan Regenerasi Anoda Zn .....	35
4.2.4 Laju Korosi Elektrode Zn .....	35
4.2.5 Pengukuran Massa Zn Setelah Regenerasi .....	38
4.2.6 Laju plating Elektrode Zn .....	42

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	51

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1.</b> Pengambilan data karakteristik elektrik air laut.....	6
<b>Gambar 2.2.</b> Susunan alat .....	8
<b>Gambar 2.3.</b> Desain sistem sel volta air laut.....	9
<b>Gambar 2.4.</b> Realisasi sistem sel volta .....	10
<b>Gambar 2.5.</b> Sel volta. ....	13
<b>Gambar 2.6.</b> Rangkaian standar sistem elektropating. ....	17
<b>Gambar 2.7.</b> Skema elektropating .....	17
<b>Gambar 2.8.</b> Elektropating Ag pada Cu .....	18
<b>Gambar 2.9.</b> Unsur seng/zinc .....	21
<b>Gambar 2.10.</b> Unsur tembaga .....	22
<b>Gambar 2.11.</b> Unsur perak.....	22
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram alir penelitian .....	25
<b>Gambar 3.2.</b> (a) Desain 5 sel volta (b) Desain bagian dalam sel volta .....	26
<b>Gambar 3.3.</b> Jembatan Garam.....	27
<b>Gambar 3.4.</b> Elektropating Ag pada Cu .....	28
<b>Gambar 3. 5.</b> Pengambilan daya regenerasi anoda Zn .....	29
<b>Gambar 3. 6.</b> Grafik hasil elektropating Zn.....	31
<b>Gambar 4.1.</b> Realisasi sistem sel volta .....	33
<b>Gambar 4.2.</b> Regenerasi anoda Zn .....	33

<b>Gambar 4.3.</b> Kondisi fisik anoda Zn setelah digunakan selama 24 jam .....	38
<b>Gambar 4.4.</b> Kondisi fisik anoda Zn setelah digunakan selama 48 jam.....	38
<b>Gambar 4.5.</b> Kondisi fisik anoda Zn setelah digunakan selama 72 jam .....	38
<b>Gambar 4.6.</b> Hubungan arus regenerasi terhadap kenaikan massa Zn setelah ....	40
<b>Gambar 4.7.</b> Hubungan arus regenerasi terhadap kenaikan massa Zn setelah ....	41
<b>Gambar 4.8.</b> Hubungan arus regenerasi terhadap kenaikan massa Zn setelah ....	42
<b>Gambar 4.9.</b> Kondisi fisik Zn yang digunakan 24 jam (a) sebelum dielektroplating (b) sesudah dielektroplating.....	48
<b>Gambar 4.10.</b> Kondisi fisik Zn yang digunakan 48 jam (a) sebelum dielektroplating (b) setelah elektroplating 5 menit (c) setelah elektroplating 10 menit.....	48
<b>Gambar 4.11.</b> Kondisi fisik Zn yang digunakan 72 jam (a) sebelum dielektroplating (b) setelah elektroplating 5 menit (c) setelah elektroplating 10 menit.....	49

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1.</b> Alat penelitian .....	23
<b>Tabel 3.2.</b> Bahan penelitian .....	24
<b>Tabel 3.3.</b> Data pengamatan arus jembatan garam (mA) .....	30
<b>Tabel 3.4.</b> Data pengamatan elektroplating Zn.....	30
<b>Tabel 3.5.</b> Hasil perhitungan laju plating elektrode Zn.....	30
<b>Tabel 4.1.</b> Laju korosi elektrode Zn .....	36
<b>Tabel 4 2.</b> Laju plating Zn yang telah digunakan 24 jam.....	43
<b>Tabel 4.3.</b> Laju plating Zn yang telah digunakan 48 jam.....	44
<b>Tabel 4.4.</b> Laju plating Zn yang telah digunakan selama 72 jam .....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Tabel A. 1.</b> Data pengukuran jembatan garam .....	59
<b>Tabel A. 2.</b> Data pengamatan arus sel volta yang digunakan selama 24 jam.....	60
<b>Tabel A. 3.</b> Data pengamatan arus sel volta yang digunakan selama 48 jam.....	63
<b>Tabel A. 4.</b> Data pengamatan arus sel volta yang digunakan selama 72 jam.....	68
<b>Tabel A. 5.</b> Data pengamatan dan perhitungan laju korosi elektrode Zn setelah digunakan selama 24 jam.....	76
<b>Tabel A. 6.</b> Data pengamatan dan perhitungan laju korosi elektrode Zn setelah digunakan selama 48 jam.....	77
<b>Tabel A. 7.</b> Data pengamatan dan perhitungan laju korosi elektrode Zn setelah digunakan selama 72 jam.....	78
<b>Tabel A. 8.</b> Data pengamatan massa anoda Zn setelah digunakan 24 jam dalam sel volta .....	79
<b>Tabel A. 9.</b> Data pengamatan massa Anoda Zn 48 jam setelah dielektroplating .	80
<b>Tabel A. 10.</b> Data pengamatan massa anoda Zn 72 jam setelah dielektroplating	82
<b>Tabel A. 11.</b> Hasil perhitungan Laju plating Zn 24 jam menggunakan tegangan elektroplating 2 Volt .....	84
<b>Tabel A. 12.</b> Hasil perhitungan laju plating Zn 48 jam menggunakan tegangan elektroplating 2 Volt .....	85
<b>Tabel A. 13.</b> Hasil perhitungan laju plating Zn 72 jam menggunakan tegangan elektroplating 2 Volt .....	87

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi menjadi salah satu kebutuhan penting bagi masyarakat Indonesia. Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Indonesia semakin bertambah, hal ini memungkinkan penggunaan energi juga semakin meningkat (Azirudin, 2019). Kebutuhan energi di Indonesia saat ini masih mengandalkan energi dari bahan bakar fosil (Pratiwi dkk., 2021). Terjadinya peningkatan dalam penggunaan energi akan mengakibatkan bahan bakar fosil menipis, sehingga sumber energi alternatif menjadi salah satu solusi dari masalah ini (Kadir, 1995). Energi alternatif dapat dihasilkan dari berbagai sumber, terutama air laut. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi dalam mengembangkan energi alternatif berbasis air laut. Energi air laut saat ini banyak digunakan dalam berbagai penelitian (Kholiq, 2015). Air laut memiliki kadar garam  $\pm 3,5 \%$  atau 35 gram garam dalam 1 liter (1000 ml) air laut (Adriani, 2020). Kandungan kadar garam dalam air laut dapat menghasilkan listrik dengan menggunakan metode sel elektrokimia.

Energi listrik dapat dihasilkan dengan memanfaatkan proses reduksi-oksidasi (redoks) dalam metode sel elektrokimia. Sel elektrokimia memiliki dua material

konduktor listrik yang disebut katoda dan anoda (Samsudin dan Yohannes, 2021). Elektrolit air laut pada sel volta akan menghasilkan energi listrik ketika diberikan dua buah logam sebagai elektrode yang terhubung satu sama lain (Riyanto, 2013). Elektrode dan elektrolit yang dihubungkan dengan sebuah jembatan garam akan mengalami reaksi oksidasi pada anode dan reaksi reduksi pada katode, dengan menggunakan jembatan garam ion dalam larutan akan seimbang (Haq dkk., 2018). Jembatan garam dalam sel volta digunakan untuk menjaga kenetralan listrik pada larutan (Yulianti dkk., 2017). Penelitian mengenai energi listrik berbasis elektrolit air laut yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pasangan elektrode tembaga-seng (Cu-Zn) yang sering digunakan pada sel volta air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan mampu menghasilkan arus dan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasangan elektrode tembaga-aluminium (Cu-Al) dan pasangan elektrode lainnya (Pauzi dkk., 2020; Pauzi dkk., 2016). Elektrolit air laut juga memiliki sifat korosif terhadap logam.

Korosi merupakan proses degradasi atau perusakan material, dimana perusakan ini disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya. Korosi pada permukaan logam terjadi karena disebabkan oleh pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga semakin lama logam akan semakin menipis (Utomo, 2009). Korosi akan mempengaruhi menurunnya daya listrik sel air laut dan menyebabkan turunnya kualitas dari suatu bahan (Vlack, 1992). Pasangan elektrode tembaga-seng (Cu-Zn) memang menghasilkan energi listrik yang besar, tetapi pasangan elektrode ini masih mengalami korosi saat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Korosi pada elektrode Cu-Zn terjadi di permukaan Zn yang ditandai dengan lapisan hitam pada permukaan Zn (Pangestu dkk., 2018). Elektrode yang berfungsi sebagai anode

merupakan elektrode yang mempunyai potensial elektrode lebih negatif sehingga elektrode anoda cenderung bersifat korosif (Winston, 2018).

Salah satu solusi untuk meminimalisir korosi pada logam adalah dengan melakukan proses elektroplating. Elektroplating merupakan pelapisan logam pada logam lain atau permukaan konduktif lainnya dengan menggunakan bantuan arus listrik dan senyawa kimia tertentu untuk memindahkan partikel logam pelapis ke material yang akan dilapisi. Proses elektroplating telah diterapkan pada berbagai penelitian. Penelitian mengenai elektroplating telah dilakukan oleh Ansari dkk. (2017) proses ini diterapkan pada *acid zinc plating* untuk melapiskan seng secara langsung pada permukaan logam *high carbon steel, cast iron, malleable iron, wrought* dan *forged iron*. Proses elektroplating *acid zinc* dalam penelitian ini menggunakan 99,99% Zn murni sebagai anoda. Untuk larutan elektrolit berisi ammonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ).

Larutan elektrolit *acid zinc* juga digunakan pada penelitian Pratiwi dkk. (2021) sebagai elektrolit pada bagian anode dalam sel volta. Penelitian ini menggunakan variasi pH *acid zinc* sebesar 4, 5, dan 6 untuk mengetahui perbandingan nilai korosi elektrode Zn. Selanjutnya, nilai korosi terbesar dihasilkan oleh larutan *acid zinc* variasi pH 4 yaitu sebesar 0,916 mm/year. Sedangkan, larutan *acid zinc* pH 6 hanya mengalami sedikit korosi yaitu sebesar 0,474 mm/year. Hal tersebut menandakan bahwa semakin rendah pH larutan *acid zinc* yang digunakan akan menghasilkan laju korosi yang tinggi dan semakin tinggi pH larutan *acid zinc* yang digunakan akan menghasilkan laju korosi yang rendah (Nurbani, 2018).

Berdasarkan pemaparan diatas maka dilakukan penelitian untuk meregenerasi anoda Zn yang mengalami korosi dengan menggunakan proses elektroplating. Penggunaan proses elektroplating pada penelitian ini diharapkan agar anoda Zn pada sel volta dapat digunakan dengan jangka waktu yang lama. Penelitian ini menggunakan larutan *acid zinc* pH 4. Untuk larutan *acid zinc* pada penelitian ini berisi ammonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) dan zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ). Sistem sel volta pada penelitian ini terdiri atas 20 sel yang terbuat dari bahan akrilik. Selanjutnya, elektrolit pada penelitian ini menggunakan air laut.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana proses pembuatan larutan *acid zinc*?
2. Bagaimana pengaruh arus dan waktu proses elektroplating terhadap regenerasi anoda Zn?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui proses pembuatan larutan *acid zinc* untuk proses elektroplating.
2. Mengetahui pengaruh arus dan waktu proses elektroplating terhadap regenerasi anoda Zn

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Memperlama umur pakai sel volta.

2. Memberikan kontribusi dalam pengembangan penelitian mengenai regenerasi elektroda anoda Zn.
3. Menjadi sarana yang bermanfaat dalam mengimplementasikan pengetahuan mengenai elektroplating.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Elektrode yang digunakan pada sel volta adalah Cu(Ag) dan Zn.
2. Jembatan garam yang digunakan adalah campuran carbon, semen dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .
3. pH yang digunakan pada larutan *acid zinc* untuk proses elektroplating sebesar 4.
4. Larutan elektrolit *acid zinc* pada proses elektroplating berisi  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{ZnCl}_2$ .
5. Elektrode anode Zn yang digunakan adalah 99,99% pelat Zn murni.

## I. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terkait

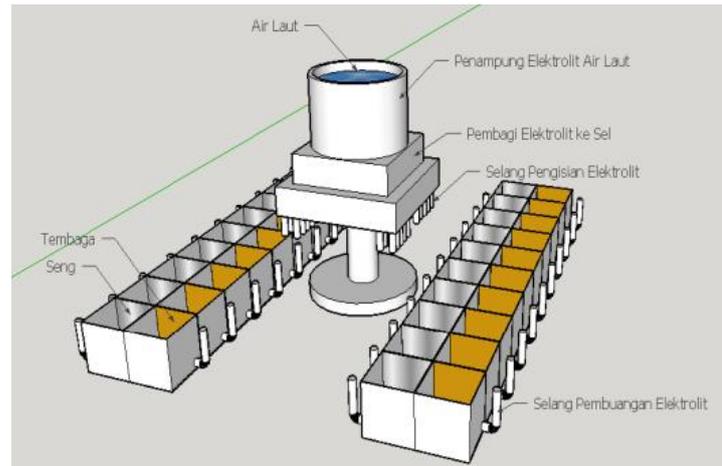
Pemanfaatan air laut sebagai sumber energi alternatif telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya, pemanfaatan air laut ini dilakukan dengan menggunakan metode elektrokimia. Penelitian yang telah dilakukan oleh Pauzi dkk. (2016) menggunakan 3 pasangan elektrode, yaitu elektrode Cu-Zn, Cu-Al, dan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



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

Penelitian yang telah dilakukan oleh Pauzi dkk. (2016) menghasilkan nilai keluaran arus dan tegangan yang semakin besar seiring dengan bertambahnya volume air laut yang digunakan saat diberi beban. Pasangan elektrode Cu-Zn menghasilkan nilai tegangan paling besar yakni 17,46 V dengan volume air laut sebesar 100 ml pada saat pengukuran tanpa menggunakan beban, sedangkan untuk pengukuran dengan beban pasangan Cu-Zn menghasilkan nilai karakteristik elektrik paling besar yaitu tegangan 4,34 V, arus 0,620 mA dan daya 2,693 mW dengan volume air laut sebesar 200 ml.

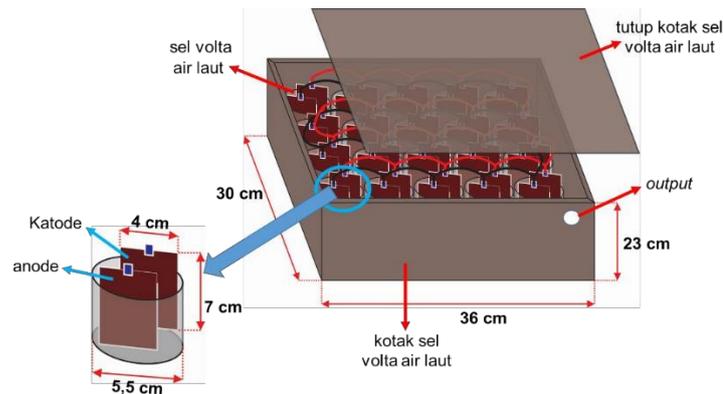
Penelitian mengenai sumber energi berbasis air laut juga telah dilakukan oleh Jannert dkk. (2018). Penelitian ini membahas karakteristik elektrik air laut yang sudah disaring dan alat penghasil energi alternatif dengan menggunakan elektrode tembaga (Cu) dan seng (Zn). Data yang diperoleh berupa tegangan dan arus dari elektrolit air laut. Penelitian ini menggunakan elektrode seng (Zn) yang berasal dari baterai ABC tipe D R20 S 1,5 V dengan tujuan mendapatkan seng (Zn) yang lebih baik saat menghasilkan beda potensial Cu-Zn yang mendekati referensi nilai potensial reduksi deret volta elektroda Cu-Zn sebesar 1,10 V. Penerapan sistem elektrolit pada penelitian ini terdiri dari 40 sel elektrolit yang terbuat dari bahan akrilik sebagai kerangka dan penyekat setiap sel dengan dimensi panjang 7 cm, lebar 7 cm, tinggi 7 cm, dan tebal 2 mm. Setiap 10 sel elektrolit pada penelitian ini terhubung secara seri. Susunan alat penelitian ini disajikan pada **Gambar 2.2**



**Gambar 2.2.** Susunan alat (Jannert dkk., 2018)

Pengujian alat dilakukan selama 144 jam dengan 6 kali pengisian elektrolit setiap 24 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama alat digunakan maka karakteristik elektrik yang dihasilkan akan semakin menurun. Penelitian ini menghasilkan keluaran tertinggi tegangan pengujian air laut tidak tersaring dengan rangkaian seri sebesar 31,5 V dan arus sebesar 7,8 mA. Daya maksimum dihasilkan oleh air laut tidak tersaring dengan rangkaian seri sebesar 101,1 mW. Iluminasi maksimum dihasilkan oleh air laut tidak tersaring dengan rangkaian seri sebesar 426,4 lux, durasi nyala lampu 8 jam. Sementara, iluminasi maksimum dihasilkan oleh air laut tersaring dengan rangkaian seri sebesar 319,7 lux, durasi nyala lampu 11 jam.

Penelitian Rizki (2019) membahas proses elektroplating Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn. Penelitian ini menggunakan sel sebanyak 20 buah dalam sistem tertutup. Hasil penelitian ini menghasilkan nilai karakteristik pada pasangan elektrode Cu(Ag)-Zn lebih stabil dibandingkan Cu-Zn. Pengambilan data dilakukan setiap 1 jam sekali dalam kurun waktu 72 jam dengan melakukann pergantian air laut setiap 24 jam. Elektrode setiap sel dihubungkan secara seri, seperti disajikan pada **Gambar 2.3**



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

Proses elektroplating Ag pada Cu dalam penelitian ini mampu menghasilkan katode Cu(Ag) menjadi tahan korosi dari air laut. Hasil penelitian nilai tegangan tanpa beban ( $V_{bl}$ ) maksimum pengisian 1 jam pertama Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn berturut-turut 17,93 V dan 17,09 V. Sedangkan nilai maksimum tegangan beban ( $V_b$ ) pada pengisian 1 jam pertama pada satu jam pertama Cu(Ag)-Zn dan Cu-Zn berturut-turut adalah 8,18 V dan 7,99 V.

Selanjutnya, penelitian mengenai perlindungan katodik logam Zn dari korosi telah dilakukan oleh Anjarwati (2019). Logam yang dilindungi berbahan besi, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh jembatan garam terhadap laju korosi elektrode Zn pada sel volta. Pasangan elektrode Cu(Ag)-Zn digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus dalam sel dengan elektrolit air laut. Jembatan garam pada penelitian ini terbuat dari agar-agar dicampur larutan NaCl dan KCl. Sel volta terdiri dari 20 sel tersusun seri. Pengujian pada sel volta ini dihubungkan dengan beban LED 3 watt 12 V selama 1 hari.

Penelitian Pratiwi (2021) mengenai pengembalian kualitas sel volta dengan melakukan reduksi pada elektroda anoda. Penelitian ini dilakukan untuk

menganalisis pengaruh larutan *acid zinc* dengan menggunakan variasi pH pada sistem sel volta. Sistem sel volta yang digunakan merupakan dua kompartemen yang dibatasi dengan jembatan garam campuran aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), air laut ( $\text{NaCl}$ ) dan semen putih. Setiap sel bagian katode  $\text{Cu}(\text{Ag})$  berisi air laut dan pada bagian anode  $\text{Zn}$  berisi larutan *acid zinc* dengan variasi pH 4, 5 dan 6. Sel volta pada penelitian ini dihubungkan secara seri menggunakan kabel penghubung, seperti disajikan pada **Gambar 2.4**



**Gambar 2.4.** Realisasi sistem sel volta (Pratiwi dkk., 2021)

Sel volta diukur dengan multitester setiap 1 jam sekali selama 3 hari. Penelitian membuktikan bahwa dengan menggunakan elektrolit larutan *acid zinc* yang memiliki nilai pH lebih rendah akan meningkatkan nilai karakteristik elektrik serta meningkatkan laju korosi yang dihasilkan sel volta.

## 2.2. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya menggunakan elektroda  $\text{Cu}(\text{Ag})$ - $\text{Zn}$  berbahan air laut dengan menambahkan jembatan garam  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NaCl}$  yang terlarut dalam semen putih. Inovasi pada penelitian ini yaitu menggunakan jembatan garam yang terbuat dari campuran Karbon + Semen +  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida) dan akan dilakukan

regenerasi pada anoda Zn agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Regenerasi anoda Zn dilakukan dengan menggunakan metode elektroplating. Bagian katoda Cu(Ag) berisi air laut dan bagian anoda Zn berisi larutan *acid zinc* dengan pH 4.

### 2.3. Elektrokimia

Elektrokimia merupakan ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron yang terjadi pada sebuah media pengantar listrik (elektroda). Reaksi elektrokimia mengimplikasikan transfer elektron-elektron bebas dari suatu logam kepada komponen dalam larutan. Keseimbangan reaksi elektrokimia sangat penting dalam sel galvani (sel yang menghasilkan arus listrik) dan sel elektrolisis (sel yang menggunakan atau memerlukan arus listrik) (Riyanto, 2012). Terdapat dua prinsip reaksi elektrokimia yaitu reaksi yang berkerja dengan melepaskan energi dari reaksi spontan dan sel reaksi yang berkerja dengan menyerap energi dari sumber listrik untuk menggerakkan reaksi non spontan (Mulyono, 2017).

Arus listrik dalam sel elektrokimia dihasilkan dari pelepasan elektron dari elektroda yang kemudian akan diterima oleh elektroda lainnya, kemudian terdapat larutan elektrolit sebagai penghantar arus listrik (Bird, 1993). Larutan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian yaitu larutan elektrolit kuat, larutan elektrolit lemah dan larutan bukan elektrolit. Larutan elektrolit kuat merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut yang dapat mengantarkan arus listrik sangat baik sehingga proses serah terima elektron berlangsung cepat dan energi yang dihasilkan relatif besar. Sedangkan larutan elektrolit lemah merupakan larutan yang mengandung ion-ion terlarut cenderung terionisasi sebagian sehingga dalam proses serah terima elektron

relatif lambat dan energi yang dihasilkan kecil. Namun proses elektrokimia tetap terjadi. Untuk larutan bukan elektrolit, proses serah terima elektron tidak terjadi sehingga larutan ini tidak bisa menghantarkan arus listrik. Logam yang dicelupkan ke dalam larutan saat proses elektrokimia disebut elektroda (Harahap, 2016). Menurut Muqqadas (2016), jenis larutan elektrolit kuat antara lain: asam kuat (HCl), basa kuat (NaOH) dan garam larut (NaCl). Kemudian, jenis larutan elektrolit lemah antara lain: asam lemah ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), basa lemah ( $\text{NH}_3$ ) dan garam sulit larut (AgCl). Jenis larutan bukan elektrolit antara lain: glukosa, sukrosa dan urea.

#### **2.4. Sel Volta**

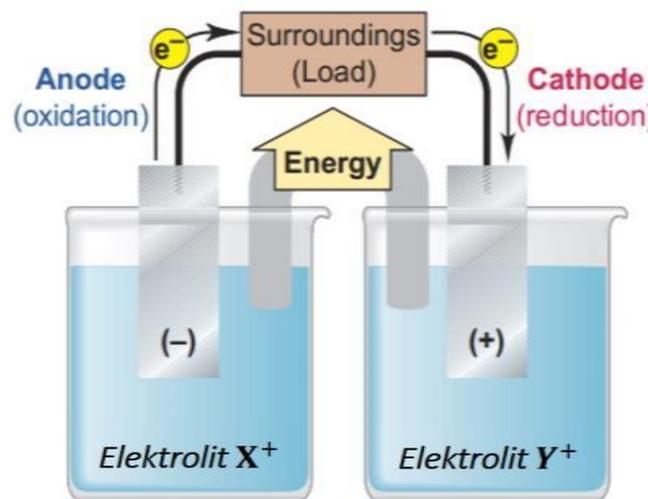
Sel Volta adalah penataan bahan kimia dan penghantar listrik yang memberikan aliran elektron melalui rangkain luar dari suatu zat kimia yang direduksi. Beberapa literatur menyebutkan bahwa sel volta sama dengan sel galvani. Bermula dari penemuan baterai yang berasal dari cairan garam. Dalam sel volta, anoda adalah kutub negatif dan katoda kutub positif. Anoda dan katoda akan dicelupkan kedalam larutan elektrolit yang terhubung oleh jembatan garam (Harahap, 2016).

Urutan pada deret volta, yaitu semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka logam semakin reaktif dan logam merupakan reduktor yang semakin kuat atau semakin mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret volta, logam semakin kurang reaktif atau semakin sulit melepas elektron dan logam merupakan oksidator yang semakin kuat atau semakin mudah mengalami reduksi (Dogra, 1990). Deret volta disusun berdasarkan daya reduksi dan oksidasi dari masing-masing logam (Mulyono, 2017). Urutan deret volta adalah sebagai berikut.

Li – K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Ni – Sn – Pb – H – Sb – Bi – Cu – Hg – Ag – Pt – Au (Nasution, 2019).

Berdasarkan deret volta di atas, logam Cu memiliki nilai potensial lebih besar dibandingkan logam Zn, Al, dan Fe. Logam Fe memiliki nilai potensial lebih besar dibandingkan logam Zn dan logam Al memiliki nilai potensial lebih besar dibandingkan logam Zn. Logam yang memiliki potensial lebih besar digunakan sebagai elektroda positif (katoda), sedangkan logam yang memiliki potensial lebih kecil digunakan sebagai elektroda negatif (anoda). (Hendri dkk., 2015).

Arus listrik yang dihasilkan pada sel volta dikarenakan adanya beda potensial antara kedua elektrode. Syarat utama sel volta yakni adanya elektrode (anode dan katode) dan larutan elektrolit (Bird, 1993). Suatu sel volta tersusun apabila dua logam dicelupkan dengan ionisasi yang berbeda dalam larutan elektrolit dan kedua elektrode dihubungkan dengan kawat, seperti yang disajikan pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.5.** Sel volta (Sadono, 2017).

Dalam sel volta, oksidasi adalah proses pelepasan elektron oleh atom, molekul atau ion sedangkan reduksi memperoleh elektron oleh suatu partikel. Potensial sel volta dapat ditentukan melalui percobaan menggunakan voltmeter atau potensiometer.

Potensial sel volta dapat juga dihitung berdasarkan data potensial elektrode positif (katode) dan potensial elektrode negatif (anode) (Dogra, 1990).

## **2.5. Sel Elektrolisis**

Menurut Harahap (2016), sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang menggunakan sumber arus listrik untuk mengubah reaksi kimia yang terjadi. Sel elektrolisis memiliki dua muatan dalam elektroda yaitu muatan negatif (katoda) dan muatan positif (anoda). Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negative (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Fakhrudin dkk., 2017).

## **2.6. Elektrolit**

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion. Elektrolit dapat berupa senyawa garam, asam, ataupun atmosfer. Elektrolit juga termasuk dalam senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Seperti yang sudah dijelaskan bahwa elektrolit adalah suatu zat, zat terbagi lagi menjadi dua bagian yaitu zat yang jumlahnya lebih sedikit didalam larutan atau biasa dikenal sebagai zat terlarut atau *solute* dan zat yang memiliki jumlah lebih banyak daripada zat-zat lain dalam larutan biasa disebut pelarut atau *solven*. Komposisi zat terlarut dan pelarut dalam larutan dinyatakan konsentrasi larutan, sedangkan proses pencampuran zat terlarut dan pelarut membentuk larutan disebut pelarutan atau solvasi (Lamy dkk., 2001).

Larutan elektrolit dibagi menjadi tiga bagian yaitu elektrolit kuat, lemah dan non elektrolit. Elektrolit kuat memiliki zat yang berbentuk ion dalam keseluruhan larutannya. Selanjutnya, elektrolit lemah memiliki zat yang sebagian kecil molekulnya terlarut dan bereaksi dengan air. Larutan non elektrolit memiliki zat yang terlarut dalam air tetapi tidak terionisasi. Berdasarkan jenisnya elektrolit biasanya terdiri atas asam basa dan garam (Kamalia, 2018). Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut dengan derajat ionisasi ( $\alpha$ ), elektrolit kuat memiliki harga  $\alpha = 1$ , karena semua zat yang dilarutkan terurai menjadi ion. Elektrolit lemah memiliki harga  $\alpha < 1$  karena hanya sebagian zat yang terurai menjadi ion sedangkan non elektrolit memiliki harga  $\alpha = 0$  karena tidak ada yang terurai menjadi ion (Chang, 2003).

## **2.7. Korosi**

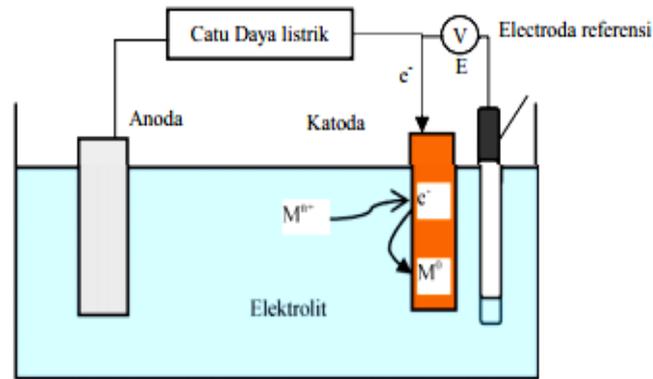
Korosi dapat terjadi pada logam, hal ini disebabkan terjadinya interaksi antara logam dengan lingkungan korosif, seperti lingkungan yang mengandung uap air. Korosi juga dapat terjadi akibat suhu tinggi. Korosi dapat mengubah struktur dan sifat-sifat logam. Oleh sebab itu, korosi cenderung merugikan. Setiap tahunnya diperkirakan 20% logam rusak akibat terkorosi. Logam yang mudah terkorosi disebabkan logam tersebut mudah teroksidasi. Logam memiliki potensial reduksi yang rendah dari oksigen (Sunarya dan Setiabudi, 2007). Korosi awalnya terjadi kerusakan pada material dalam skala yang kecil atau kasat mata. Proses terjadinya korosi membutuhkan waktu. Dalam peristiwa korosi, suatu bahan akan bersifat anoda. Anoda mengalami oksidasi. Reaksi oksidasi akan kehilangan elektron dan senyawa dari ion logam tersebut berubah menjadi ion bebas. Anoda terkorosi dengan

melepaskan satu atau lebih elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion (Siregar, 2021).

Suatu pasangan galvanik seperti elektrode zinc dan tembaga dapat teroksidasi. Ketika kedua logam dihubungkan dengan voltmeter maka akan terlihat suatu perbedaan tegangan. Saat melalui voltmeter, elektron mengalir dari elektrode zinc melalui rangkaian luar, dan tembaga akan menerima elektron dari rangkaian luar. Aliran elektron dari anode akan menghasilkan zinc yang terkorosi. Elektron akan bereaksi dengan ion tembaga yang terdapat dalam elektrolit. Korosi hanya terjadi pada salah satu elektrode pasangan galvanik (Vlack, 1992).

## **2.8. Elektroplating**

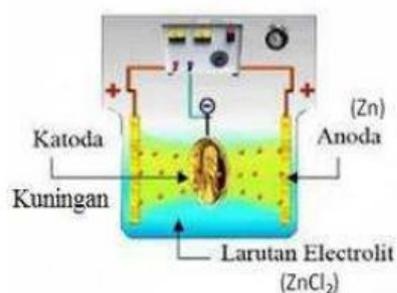
Menurut Budiyanto dkk. (2016), elektroplating adalah suatu proses pengendapan atau deposisi anion logam pelindung (anoda) yang dikehendaki di atas logam lain (katoda) secara elektrolisa. Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda (anoda-katoda) dan elektrolit menuju arah tertentu secara tetap. Dapat disimpulkan bahwa terjadinya suatu endapan pada proses elektroplating ini disebabkan adanya ion-ion bermuatan listrik berpindah dari suatu elektroda (anoda) melalui elektrolit dan akan mengendap pada elektroda lain (katoda). Sistem elektroplating terdiri dari catu daya, larutan elektrolit, katode, anode dan jika diperlukan ada tambahan elektroda referensi. Agar reaksi berjalan, elektrode dihubungkan dengan catu daya kemudian dimasukkan ke dalam elektrolit di dalam sel elektrokimia (Paunovic dan Schlesinge, 1998). Rangkaian standar sistem elektroplating seperti yang disajikan dalam **Gambar 2.6**



**Gambar 2.6.** Rangkaian standar sistem elektroplating (Widayatno dan Roy, 2011).

Elektrode yang dihubungkan ke catu daya akan menghasilkan arus listrik yang mengalir dari katode ke anode (Paunovic dan Schlesinge, 1998). Elektroplating sangat dipengaruhi oleh pH dan konduktivitas larutan elektrolit, konduktivitas elektrode dan transfer massa ion yang bereaksi (Widayatno, 2016).

Proses elektroplating telah banyak digunakan, terutama elektroplating menggunakan larutan senyawa kimia. Misalnya, sebuah kuningan yang akan dilapis dengan seng (Zn). Larutan yang digunakan pada proses elektroplating adalah garam logam zinc chloride ( $\text{ZnCl}_2$ ). Seperti yang disajikan oleh **Gambar 2.7**



**Gambar 2.7.** Skema elektroplating (Alian, 2010).

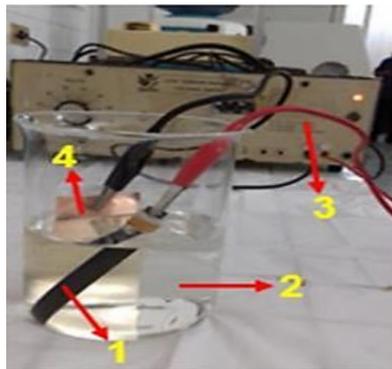
Antara anoda dan katoda terjadi perbedaan potensial setelah dialirkan listrik, maka logam seng akan terurai di dalam elektrolit yang juga mengandung ion-ion seng. Melalui larutan elektrolit, ion-ion seng ( $\text{Zn}^{2+}$ ) akan terbawa kemudian mengendap pada permukaan katoda (kuningan) dan berubah menjadi atom-atom seng. Kondisi

ini terjadi reaksi reduksi ion seng menjadi logam seng sebagai berikut.



Karena larutan elektrolit selalu mengandung garam dari logam yang akan dilapis, garam-garam tersebut yang dipilih yang mudah larut, tetapi anionnya tidak mudah tereduksi (Alian, 2010).

Proses elektroplating Ag pada Cu dilakukan dengan larutan sepuh perak ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,02 M sebanyak 300 ml sebagai larutan elektrolitnya (Rizki, 2019). Elektroplating Ag pada Cu seperti **Gambar 2.8**



**Gambar 2.8.** Elektroplating Ag pada Cu (Rizki, 2019).

keterangan : 1. batang karbon sebagai logam inert untuk anode;

2. larutan  $\text{AgNO}_3$  0,02 M;

3. power supply;

4. logam Cu sebagai katode.

Logam Cu sebagai katode dan batang karbon sebagai anode. Sebelum dilakukan elektroplating, permukaan logam Cu dibersihkan dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1% untuk mengurangi kandungan lemak yang menempel pada Cu. Kemudian permukaan 27 logam Cu tersebut dibersihkan kembali dengan etanol 96% untuk menghilangkan

kandungan  $\text{HNO}_3$  yang menempel pada Cu. Selanjutnya, elektroplating dilakukan dengan tegangan sebesar 2 volt selama 5 menit (Rizki, 2019).

Menurut Callister (2007). Elektroplating (lapis listrik) adalah suatu proses pengendapan/deposisi ionion logam pelindung (anoda) yang dikehendaki di atas logam lain (katoda) secara elektrolisa. Selama proses pengendapan berlangsung terjadi reaksi kimia pada elektroda (anoda-katoda) dan elektrolit menuju arah tertentu secara tetap. Elektroplating merupakan salah satu pelapisan yang sudah banyak digunakan untuk meningkatkan penampilan, perlindungan terhadap korosi, sifat khas permukaan serta sifat teknis/mekanis tertentu. Contohnya perubahan fisik yaitu ketika material/subtrat dilapis dengan nikel maka bertambahnya daya tahan material tersebut terhadap korosi serta bertambahnya kapasitas konduktifitasnya. Dalam sifat mekaniknya akan terjadi perubahan kekuatan tarik maupun tekan dari suatu material sesudah mengalami pelapisan dibandingkan sebelumnya. Proses elektroplating merupakan kebalikan dari proses korosi. Hal ini karena dari proses korosi elektroplating yang mengalami penyusutan yaitu pada anoda (bahan pelapis) yang akan mengendap pada permukaan katoda (Hartomo, 1992).

## 2.9. Pangkat Hidrogen (pH)

pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Soren Peder Lauritz Sorenson. Singkatan “p” pada pH adalah *potenz* atau power sedangkan singkatan “H” pada pH adalah simbol unsur hidrogen (Zulius, 2017). Menurut Basuki (2021) pH merupakan fungsi logaritma negatif dari konsentrasi ion  $\text{H}^+$  dalam suatu larutan:

$$\text{pH} = -\log [H^+] \quad 2.4$$

Menurut Joko (2010) pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan, zat atau benda. Istilah pH diturunkan dari konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan. ( $H^+$ ) adalah konsentrasi ion hidrogen, pH normal memiliki nilai 7, nilai  $pH < 7$  menunjukkan zat tersebut bersifat asam sedangkan  $pH > 7$  menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa.

## **2.10. Karakteristik Air Laut**

Air laut umumnya memiliki nilai pH di atas 7 yang berarti bersifat basis, namun dalam kondisi tertentu nilainya dapat menjadi lebih rendah dari 7 sehingga menjadi bersifat asam (Susana, 2009). Air laut memiliki tingkat keasaman lebih tinggi pada permukaan. Tingkat keasaman (pH) terbentuk karena kandungan 93% karbon anorganik berupa  $HCO_3^-$ , 6% berupa  $CO_3^{2-}$  dan 1% berupa  $CO_2$ . Kandungan garam yang terlarut dalam air laut dan temperatur sangat menentukan penghantaran listrik pada air laut (Sasono, 2010).

## **2.11. Karakteristik Fisik Tembaga (Cu), Seng (Zn) dan Perak Ag**

### **2.12.1 Karakteristik seng (Zn)**

Seng atau *zinc* merupakan salah satu unsur dengan simbol Zn, memiliki nomor atom 30, massa atom 65,37 g/mol, dan terdapat pada golongan II B unsur transisi di dalam tabel periodik (Angin, 2018). Seng memiliki massa jenis sebesar 7,14 g/cm<sup>3</sup>. Seng mudah ditempa dan liat pada suhu 110-150°C. Seng memiliki titik lebur pada 410 °C dan titik didih pada suhu 906 °C. Ketika seng dipanaskan dengan suhu tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Seng adalah logam yang memiliki

karakteristik cukup reaktif dan dapat bereaksi dengan asam, basa, dan senyawa non logam (Sugiyarto dan Retno, 2010). Seng memiliki banyak efek pada paduan yaitu meningkatkan kekuatan pada temperatur ruang dan ketahanan korosi (Hutahaeen, 2015). Bentuk unsur seng (Zn) ditunjukkan pada **Gambar 2.9**



**Gambar 2.9.** Unsur seng/zinc (Helmenstine, 2019).

### **2.12.2 Karakteristik tembaga (Cu)**

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29 dan memiliki massa atom sebesar 63,54 g/mol. Tembaga memiliki titik lebur sebesar 1083 °C dan titik didih sebesar 2310 °C (Kundari dan Wiyuniati, 2008). Tembaga memiliki bentuk kristal dengan warna kemerahan. Tembaga dapat ditemukan dalam bentuk logam bekas, tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk senyawa (Natadisastra dkk., 2010). Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa serta bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi kawat. Bentuk unsur tembaga (Cu) ditunjukkan pada **Gambar 2.10**



**Gambar 2.10.** Unsur tembaga (Helmenstine, 2016).

### 2.12.3 Karakteristik perak (Ag)

Perak (Ag) adalah unsur logam dengan nomor atom 47. Perak murni memiliki nilai konduktivitas listrik, konduktivitas termal dan reflektivitas tertinggi diantara semua logam. Perak murni bersifat stabil di udara murni dan air, tetapi dapat ternoda ketika terkena ozon, hydrogen sulfide, atau udara yang mengandung sulfur. Perak banyak digunakan untuk perhiasan, koin, dan baterai Perak merupakan logam transisi (golongan I B) yang berwarna putih terang atau silver. Nilai konduktivitas listrik dan panas dari logam Ag mencapai  $6,3 \times 10^7$  S/m dan 429 W/mK. Perak memiliki nilai densitas sebesar  $10,50 \text{ gr/cm}^3$  (Hammond, 2004). Bentuk unsur perak (Ag) ditunjukkan pada **Gambar 2.11**



**Gambar 2.11.** Unsur perak (Helmenstine, 2019).

## II. METODE PENELITIAN

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Ruang Workshop Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung dari bulan April 2022 sampai dengan Juni 2022.

### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.1**

**Tabel 3.1.** Alat penelitian

No	Nama Alat	Fungsi
1	Gunting	Memotong elektrode
2	Kamera	Mengambil dokumentasi saat penelitian
3	Multimeter	Mengukur tegangan, arus , dan hambatan
4	Timbangan digital	Menimbang massa elektrode
5	<i>Stopwatch</i>	Mencatat waktu elektroplating
6	<i>Power supply</i>	Sebagai sumber tegangan
7	Gelas baker	Untuk mengukur volume air laut
8	Timbangan digital	Menimbang massa elektrode
9	Filter air	Tempat proses filtering

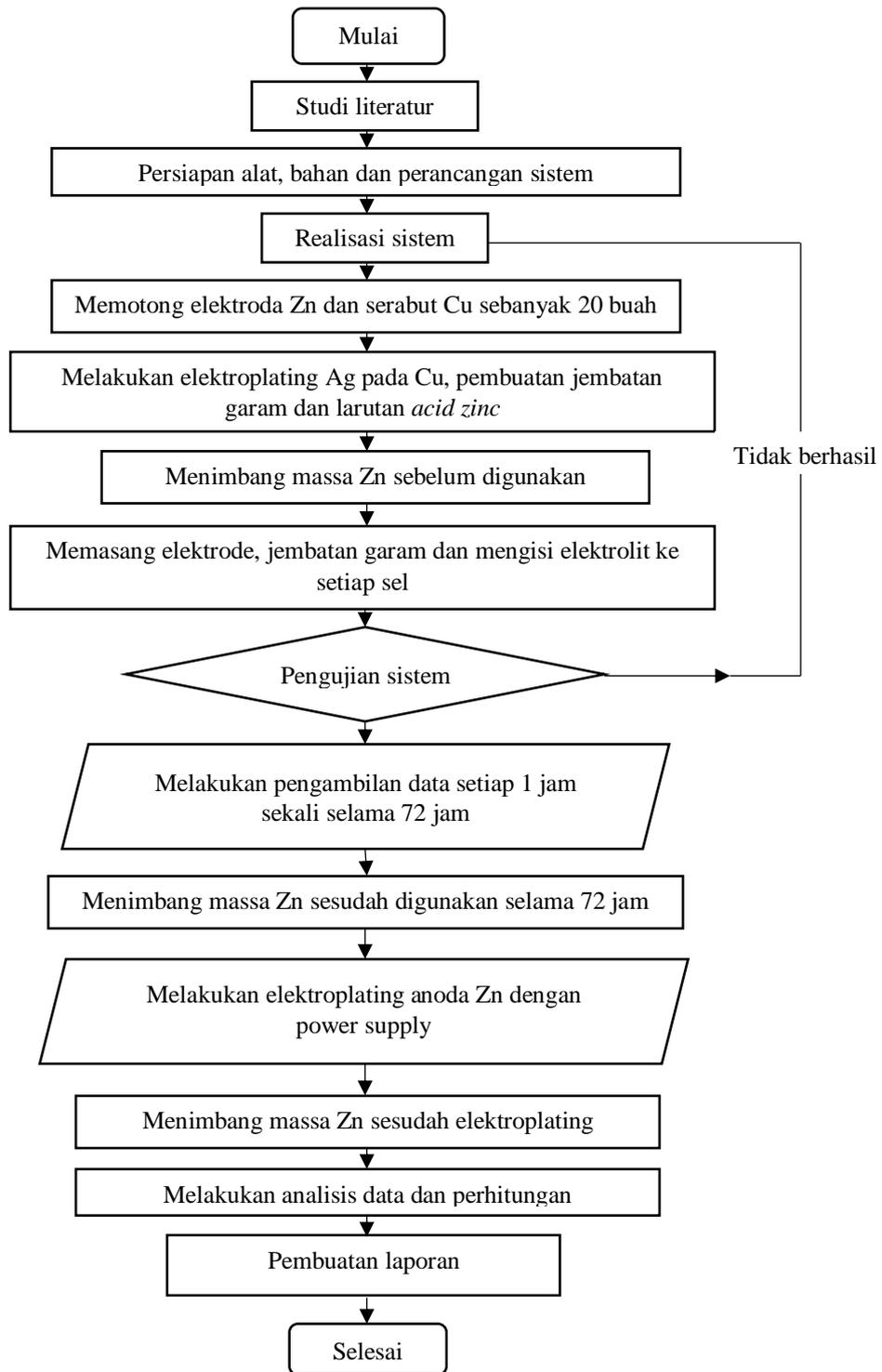
Selanjutnya, bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada **Tabel 3.2**

**Tabel 3.2.** Bahan penelitian

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Air laut	Sebagai elektrolit sel volta
2	Akrilik	Sebagai media sel volta
3	Serabut Cu (120 cm)	Sebagai katode sel volta
4	Pelat Zn (4x7x0,002 cm)	Sebagai anode sel volta
5	Larutan AgNO <sub>3</sub>	Sebagai larutan elektrolit pada proses elektroplating Cu(Ag)
6	Larutan HNO <sub>3</sub> 1%	Sebagai pembersih logam Cu
7	Etanol 96%	Sebagai pembersih logam Cu setelah dibersihkan dengan HNO <sub>3</sub>
8	Batang karbon	Sebagai anoda dalam elektroplating Cu(Ag)
9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Carbon dan semen	Untuk membuat jembatan garam
10	NH <sub>4</sub> Cl dan ZnCl <sub>2</sub>	Untuk membuat larutan <i>acid zinc</i>
11	Aquades	Untuk mengencerkan larutan sepuh
12	LED	Sebagai beban atau untuk menguji keluaran yang dihasilkan
13	Lem korea dan lem dextone	Sebagai perekat media sistem sel volta berbahan akrilik
10	Kabel penghubung	Media penghubung elektroda
11	Kertas dan pulpen	Mencatat data pengamatan dan sebagainya

### 3.3. Prosedur Penelitian

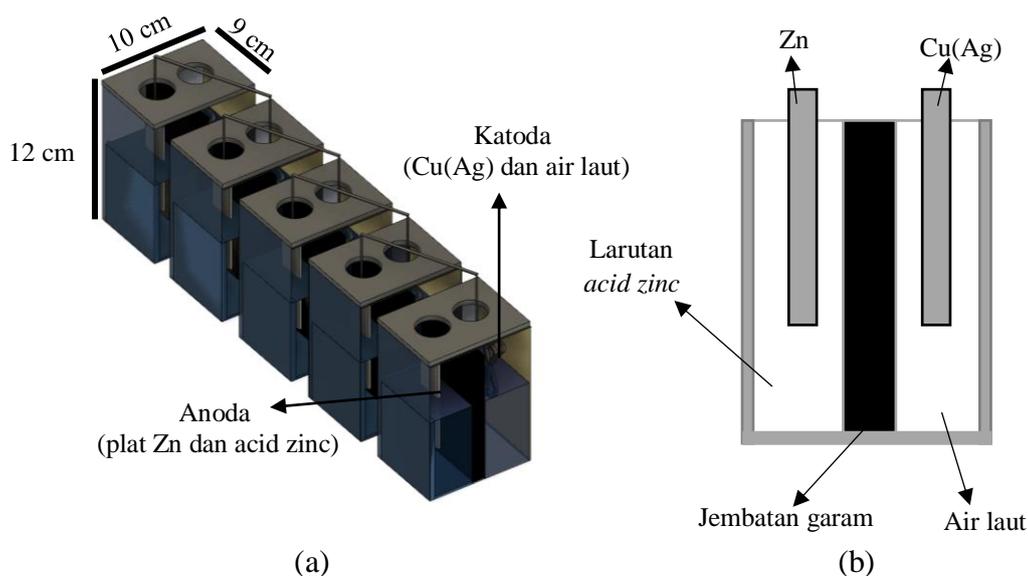
Penelitian ini dilakukan dengan 5 tahapan untuk memperoleh dan menganalisa data pengamatan yaitu perancangan dan pembuatan sistem, pembuatan jembatan garam, proses elektroplating Cu(Ag), pembuatan larutan *acid zinc* serta pengujian sistem dan pengambilan data. Prosedur penelitian ini disajikan dalam **Gambar 3.1**



**Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian

### 3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Tahap awal yaitu dilakukan perancangan dan pembuatan sistem sel volta yang tersusun dari 20 sel berbahan akrilik. Sel volta dirangkai secara seri untuk pengujian sistem, seperti yang disajikan dalam **Gambar 3.2**



**Gambar 3.2.** (a) Desain 5 sel volta (b) Desain bagian dalam sel volta

Ukuran dari setiap sel nya yaitu panjang sebesar 10 cm, lebar sebesar 9 cm, dan tinggi sebesar 12 cm. Setiap sel saat pengujian sistem berisi sepasang elektrode Cu(Ag)-Zn yang dibatasi dengan jembatan garam. Jembatan garam yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida), Karbon dan Semen. Penelitian ini menggunakan elektrolit berbahan air laut dan larutan *acid zinc*. Elektrode sistem sel volta ini yaitu menggunakan serabut Cu dan pelat Zn.

### 3.3.2 Pembuatan Jembatan Garam

Tahap selanjutnya adalah pembuatan jembatan garam yang terbuat dari bahan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida) + Karbon + semen. Jembatan garam ini terbuat dari 4

variasi karbon. Massa karbon yang digunakan sebesar 5 gram untuk variasi pertama, 10 gram untuk variasi kedua, 15 gram untuk variasi ketiga, dan 20 gram untuk variasi keempat. Sedangkan, untuk semen dan alumina yang digunakan konstan yaitu sebesar 40 gram/variasi. Dalam pembuatan jembatan garam ini, ketiga bahan diaduk hingga tercampur. Setelah tercampur, bahan tersebut dicetak dengan menggunakan akrilik, lalu dikeringkan selama  $\pm 7$  hari hingga mengeras. Jembatan garam ditunjukkan pada **Gambar 3.3**



**Gambar 3.3.** Jembatan Garam

### 3.3.3 Proses Elektroplating Ag pada Cu

Tahap ini dilakukan proses elektroplating Ag pada Cu dengan menggunakan larutan elektrolit yang berisi  $\text{AgNO}_3$  sebanyak 100 ml dan aquades sebanyak 900 ml. Katode berisi serabut Cu dan anode berisi batang karbon. Serabut Cu dibersihkan terlebih dahulu dengan larutan  $\text{HNO}_3$  1%, selanjutnya Cu dibersihkan dengan menggunakan etanol 96%. Kemudian, proses elektroplating Ag pada Cu dilakukan dengan tegangan sebesar 2 volt yang berasal dari power supply. Proses elektroplating ini disajikan dalam **Gambar 3.4**



**Gambar 3.4.** Elektroplating Ag pada Cu

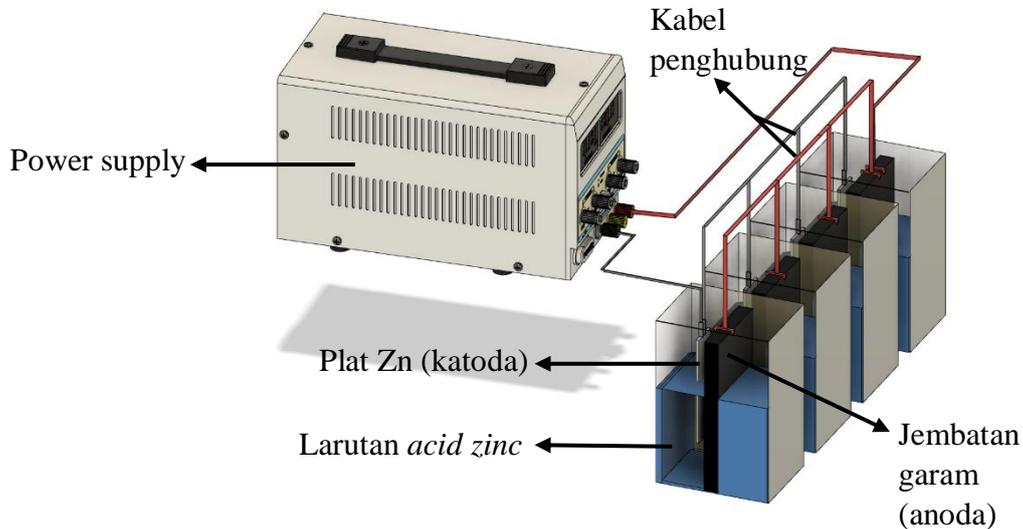
### 3.3.4 Pembuatan Larutan *Acid Zinc*

Pembuatan larutan *acid zinc* dilakukan dengan mencampurkan amonium klorida ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) sebanyak 27 gram, zinc klorida ( $\text{ZnCl}_2$ ) sebanyak 68 gram dan aquades sebanyak 1 liter. Penelitian ini menggunakan pH 4. Proses pembuatan larutan *acid zinc* menggunakan HCl (asam klorida) untuk menurunkan pH menjadi 4.

### 3.3.5 Pengujian Sistem dan Pengambilan Data

Selanjutnya, tahap ini dilakukan pengujian sistem dan pengambilan data. Pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan 5 sel volta secara seri dari setiap variasi jembatan garam yang digunakan, kemudian menghubungkan sel volta ke 20 LED. Pengujian sistem dilakukan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Setelah melakukan pengujian sistem, selanjutnya dilakukan regenerasi anoda Zn yaitu dengan menghubungkan *power supply* ke anoda Zn berbentuk plat yang telah digunakan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Anoda zn terhubung ke kutub positif power

supply dan jembatan garam terhubung ke kutub negatif power supply. Pengambilan data regenerasi anoda Zn disajikan dalam **Gambar 3.5**.



**Gambar 3. 5.** Pengambilan daya regenerasi anoda Zn

Data yang diambil dalam penelitian ini yaitu meliputi arus sel volta dari setiap variasi jembatan garam saat digunakan selama 24 jam, 48 jam dan 72 jam, massa elektrode Zn sebelum dan sesudah digunakan selama 24 jam, 48 jam, 72 jam dan massa elektroda Zn setelah diregenerasi menggunakan proses elektroplating, arus regenerasi (mA), tegangan regenerasi(V), dan waktu regenerasi (menit). Setelah pengambilan data, dilakukan perhitungan laju plating elektrode (**Persamaan 3.1**).

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

Keterangan :

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

$m = m_0 - m_1$  = massa awal – massa akhir (gr);  $\rho$  = densitas ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ );

$A$  = luas permukaan ( $\text{cm}^2$ );  $t$  = waktu (menit).

Rancangan data pengamatan dan hasil perhitungan dari hasil penelitian ini,

ditunjukkan pada **Tabel 3.3** sampai dengan **Tabel 3.5**.

**Tabel 3.3.** Data pengamatan arus jembatan garam (mA)

No	Perbandingan jembatan garam (gr)	Arus (mA)
1	5 : 40 : 40	
2	10 : 40 : 40	
3	15 : 40 : 40	
4	20 : 40 : 40	

**Tabel 3.4.** Data pengamatan elektroplating Zn

No	Elektrode Zn ke-	Arus (mA)	Tegangan (V)	Waktu (menit)	Massa sebelum regenerasi (gr)	Massa sesudah regenerasi (gr)
1						
2						
3						
4						

**Tabel 3.5.** Hasil perhitungan laju plating elektrode Zn

No	$k$	$\Delta m$ (gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$t$ (menit)	Laju plating Zn (mm/tahun)
1						
2						
3						
4						

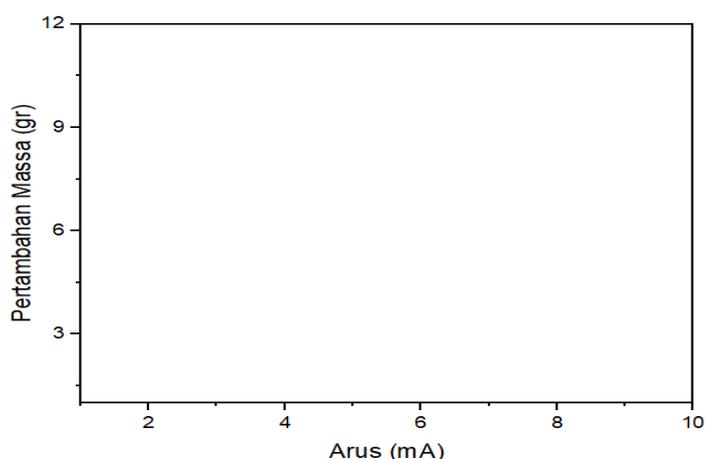
### 3.4. Metode Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini melibatkan perhitungan angka atau kuantitas. Oleh karena itu, berdasarkan dengan ciri-ciri tersebut penelitian ini dapat dikategorikan sebagai penelitian kuantitatif. Menurut Siyoto dkk. (2015), metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang sistematis,

terencana dan terstruktur dengan jelas. Metode tersebut dikenal sebagai metode ilmiah (*scientific*) karena metode ini telah memenuhi kaidah ilmiah.

Penelitian kuantitatif berawal dari masalah, merujuk teori, mengemukakan hipotesis, mengumpulkan data, menganalisis data, dan membuat kesimpulan. Metode kuantitatif pada penelitian dilakukan dengan urutan dan prosedur tertentu yang bersifat tetap sehingga peneliti mengikuti prosedur yang telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Instrumen juga dibutuhkan dalam penelitian kuantitatif untuk menghasilkan data numerikal (Salim dkk., 2019).

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis data hasil penelitian dan hasil perhitungan yang diperoleh. Data penelitian yang diperoleh dari penelitian ini yaitu tegangan, arus, intensitas cahaya dan waktu. Analisis hasil perhitungan yang diperoleh dari penelitian ini yaitu laju plating elektrode. Keakuratan data yang diperoleh dalam pengambilan data massa Zn setelah dan sebelum dielektroplating menggunakan instrumen berupa timbangan digital dengan ketelitian 0.01 gram. Rancangan analisis data dapat dilihat pada **Gambar 3.7**



**Gambar 3. 6.** Grafik hasil elektroplating Zn

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Dari hasil penelitian mengenai regenerasi terhadap anoda Zn dalam sel volta pasangan elektrode Cu(Ag)-Zn menghasilkan nilai pertambahan massa yang mendekati nilai massa awal Zn sebelum digunakan dalam sel volta. Hal ini dapat dikatakan bahwa regenerasi anoda Zn bisa dijadikan salah satu alternatif energi terbarukan.
2. Sampel Zn dengan jembatan garam yang memiliki massa 15 gr karbon, 40 gr alumina dan 40 gr semen menghasilkan laju plating yang cukup besar dan baik sebesar 0,98 % jika dibandingkan dengan sampel Zn lainnya.
3. Semakin besar arus dan waktu yang digunakan mempengaruhi pertambahan massa Zn. Regenerasi Zn selama 5 menit sebesar 0,992% dan regenerasi Zn selama 10 menit sebesar 0,997%.

## 5.2 Saran

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

1. Memperbanyak variasi bahan pelapis atau larutan elektrolit untuk mengetahui pengaruh larutan elektrolit dan bahan pelapis terhadap nilai massa lapisan.
2. Memperbanyak variasi waktu, tegangan dan arus untuk mengetahui nilai optimal dalam menghasilkan produk elektroplating yang lebih baik.
3. Memperbanyak variasi konsentrasi larutan (molaritas) *acid zinc* untuk mengetahui hasil elektroplating yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adriani. 2020. Pemanfaatan Air Laut Sebagai Sumber Cadangan Energi Listrik. *Jurnal Vertex Elektro*. Vol. 12 No.2. Hal 22-23.
- Alian, Helmy. 2010. Pengaruh Tegangan pada Proses elektroplating Baja dengan Pelapis Seng dan Krom Terhadap Kekerasan dan Laju Korosinya. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang ISBN: 978-602-97742-0-7*.
- Anderson, M.A., Alberto, C., and Jose, P. 2010. Capacitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. *Electrochimica Acta*. No. 55. Hal. 3845-3856.
- Andinata, et al., 2012. Pengaruh pH Larutan Elektrolit Terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel Pada Baja St 37. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya*. 2(2). 48.
- Angin, Elsa. 2018. *Penentuan Kandungan Logam Tembaga dan Seng pada Tanah Berdasarkan Posisi dan Kedalaman Tanah di Lahan Aplikasi Kelapa Sawit Kawasan Kebun Rambutan*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Anjarwati, Arie. 2019. *Analisis Aplikasi Jembatan Garam Pada Sel Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu(Ag)-Zn Berbahan Elektrolit Air Laut*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandarlampung.
- Ansari, I., Indrawijaya, B., Nurohmawati, F., dan Zakaria, I. 2017. Pengaruh Waktu Dan Luas Permukaan Terhadap Ketebalan Produk dari Elektroplating *Acid Zinc*. *Jurnal Teknik kimia*. Universitas Pamulang. Tangerang Selatan. Vol. 1 No. 1. Hal 1-6
- Arif. 2010. *Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Larutan Nickel Sulphate (NiSO<sub>4</sub>) terhadap Laju Korosi*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang
- Azirudin, Tengku. 2019. Potensi Energi Angin Di Atas Bangunan Bertingkat Di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. *Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*. Vol. 18 No. 1. Hal 23-28.
- Antoni, Zulius. 2017. Rancang Bangun Monitoring pH Air Menggunakan Soil Moisture Sensor di SMK N 1 Tebing Tinggi Kabupaten Empat Lawang. *Jurnal Sistem Komputer Musirawas (JUSIKOM)*. Vol. 2 No. 1. Hal 37-43

- Basuki, K. H. 2021. Aplikasi Logaritma Dalam Penentuan Derajat Keasaman (pH). *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*. Vol. 7 No. 21. Hal 29-38
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Budiyanto, E., Setiawan, D. A., Supriadi, H., dan Ridhuan, K. 2016. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*. Vol. 5 No. 1.
- Callister, W.D. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach, 4<sup>th</sup> Edition*. USA: Wiley.
- Chang, Raymond. 2003. *General Chemistry: The essential Concepts*. Diterjemahkan oleh Suminar Setiadi Achmadi, Ph.D. Erlangga. Jakarta. 189-196, 443-454 hlm.
- Deviana, R. 2014. Pengaruh Waktu Pencelupan Dan Temperatur Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan Dan Kekerasan Permukaan Baja St 42. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol 03 No. 01. Hal 176-183
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Diterjemahkan oleh Umar Mansyur. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Fakhrudin, dkk. 2017. Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan Menggunakan Metode Elektrolisis. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. Vol. 1. No. 1. Hal 10-15.
- Febryan, dkk. 2012. Pengaruh pH Larutan Elektrolit Terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel Pada Baja St 37. *Jurnal Penelitian Fisik dan Aplikasinya*. Vol. 2. No. .2 Hal. 48-52.
- Hammond, C. R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81st edition*. CRC press.
- Haq, S. Z. N., Kurniawan, E., & Ramdhani, M. 2018. Analisis Pembangkit Elektrik Menggunakan Media Air Garam Sebagai Larutan Elektrolit. *e- Proceeding of Engineering*. Vol.5. No.03. Hal 3823–3830.
- Harahap, Muhammad Ridwan. 2016. Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*. Vol. 02. No. 01. Hal. 177-180.
- Hartomo, Anton dan Tomojiro Kaneko. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (elektroplating)*. Andi offset. Yogyakarta.
- Helmenstine, Anne Marie. 2017. Zinc Facts. <https://www.thoughtco.com/zinc-facts-606621>. Diakses pada 6 Februari 2022 pukul 23.18 WIB.

- Helmenstine, Anne Marie. 2019. 10 Silver Facts (Atomic Number 47 and Element Symbol Ag). <https://www.thoughtco.com/silver-facts-606596>. Diakses pada 7 Februari 2022 pukul 01.23 WIB.
- Helmenstine, Anne Marie. 2021. 10 Copper Facts-Atomic Number 29 Symbol Cu. <https://www.thoughtco.com/interesting-copper-element-facts-603357>. Diakses pada 7 Februari 2022 pukul 00.10 WIB.
- Hendri, Y. N., Gusnedi., dan Ratnawulan. 2015. Pengaruh Jenis Kulit Pisang dan Variasi Waktu Fermentasi Terhadap Kelistrikan dari Sel Accu dengan Menggunakan Larutan Kulit Pisang. *Pillar of Physics*. Vol. 6 Hal. 97-104.
- Hutahaean, Gunawan. 2015. *Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Tembaga–Seng Melalui Proses Pengecoran*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Jannert, E., Pauzi, G. A., dan Supriyanto, A. 2018. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Tersaring Sebagai Sumber Energi Alternatif Berkelanjutan (Sustainable Energy). *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 6 No. 2. Hal 257-263.
- Joko, Tri. 2010. *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi Edisi Kedua*. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Kamalia, L., Pauzi, G. A., dan Suciyati, S. W. 2018. Analisis Laju Korosi Bahan Cu-Zn dengan Metode Sacrificial Anode pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 6. No. 2. Hal. 249-256
- Kardiman., dan Fauji, N. 2021. Pengaruh Kuat Arus dan Waktu Elektroplating Nikel terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Baja. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Vol 16 No.2 Hal 172-180
- Kholiq, I. 2015. Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. Vol 19 NO. 2. Hal 71-91.
- Kumar, S., Pande, S., Verma, P. 2015. Factor Effecting Electro-Deposition Process. *International Journal of Current Engineering and Technology*. Vol 5 No.2. Hal.700
- Kundari, N A dan Wiyuniati S. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga Dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. Hal 376.
- Lamy, C., Belgsir, E. M., and Leger, J. M. 2001. Electrocatalytic Oxidation Of Aliphatic Alcohols Application to The Direct Alcohol Fuel Cell. *Journal Application Electrochem*. Vol 31. Page 799-809.
- Mulyono, Pribadi R. 2017. *Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L Grade B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang*

*Dipasang Di Dalam Tanah*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.

- Muqaddas, A. (2016). *Pembuatan Properti Lampu Dengan Sumber Tegangan Listrik Dari Air Laut*. Skripsi. Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar.
- Nasution, Muslih. 2019. Kajian Tentang Hubungan Deret Volta dan Korosi Serta Penggunaannya Dalam Kehidupan Sehari-Hari. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*. Vol. 2. No. 1. Hal 252-255.
- Natadisastra, G. G., Hasan, Z., Sriati., dan Lili, W. 2010. Kemampuan penyerapan logam berat tembaga (Cu) pada akar *Avicennia marina* di perairan Karangsong, Kabupaten Indramayu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. Vol. IX. No. 2.
- Nurbani, Muhammad Primahessa. 2018. *Analisa Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi Baja S45c Hasil Galvanisasi Celup Panas Dengan Metode Kehilangan Berat*. Skripsi. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Pangestu, S. S., Pauzi, G. A., dan Suciyati, S. W. 2018. Analisis Laju Korosi pada Sistem Energi Listrik Alternatif Berbasis Elektrolit Air Laut. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 06. No. 01. Hal. 11-20.
- Paunovic, M. and Schlesinger, M. 1998. *Fundamentals of Electrochemical Fabrication*, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Pauzi, A. G., dan Wicaksana, B. 2020. Analisis Pemanfaatan Joule Thief Tipe Toroida Pada Sel Volta Menggunakan Elektroda (Cu(Ag)-Zn) Berbahan Elektrolit. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol. 24 No.1. Hal 7.
- Pauzi, G. A., Hudaya, E., Suptiyanto, A., Warsito., dan Surtono, A. 2016. Analisis Uji Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Posiding SM SMIAP IV*. Vol. 4. Buku 3. Hal. 1-8.
- Pratiwi. Nilla Anggi. 2021. *Analisis Pengaruh Variasi pH Larutan Acid Zinc Pada Sistem Sel Volta Dua Kompartemen Dengan Elektrode Cu(Ag)-Zn*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Riyanto. 2012. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rizki, Ketrin C. 2019. Analisis pengaruh Elektroplating Perak (Ag) Pada Tembaga (Cu) Terhadap Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Rohman, T., Sulo, B. D., dan Melfazen, O. 2019. Sistem Konversi Energi Berbasis Air Laut Guna Mendapatkan Energi Listrik Dengan Metode Sel Volta. *Science Electro*. Vol. 11 No. 1.
- Sadono, R. 2017. *Elektrokimia*. <http://harischem.blogspot.co.id/2017/>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2021 pukul 14.20 WIB.
- Salim, H dan Haidir. 2019. *Penelitian Pendidikan: Metode, Pendekatan, dan Jenis*. Kencana. Jakarta.

- Samsudin dan Yohannes. 2021. Karakteristik Media Konduktor Pada Pemanfaatan Air Laut Sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Teknologi Industri*. Vol. 10 No. 1. Hal 16-22.
- Sasono, Eko J. 2010. *Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Paduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal AISI E 2512 Terhadap Laju Korosi Di Dalam Media Air Laut*. Tesis. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Siregar, Tiurlina. 2021. *Korosi Dan Pencegahannya*. Yayasan Kita Menulis. Medan.
- Siyoto, S dan Ali, S. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Literasi Media Publishing. Indonesia.
- Sugiyarta, A.P. Bayuseno, dan Sri, N. (2012). Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Pada Proses Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah. *Jurnal Rotasi*. Vol 14 No.4 Hal 23-27.
- Sugiyarto, K. H., dan Suyanti, R. D. (2010). *Kimia Anorganik Logam*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sumpena dan Wardoyo. 2020. Analisa Kuat Arus Listrik dan Waktu Electroplating Nickel-Chrome terhadap Kekerasan dan Ketebalan Lapisan Permukaan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*. Vol 4 No.2. Hal 96-102.
- Sunarya dan Setiabudi. 2007. *Mudah dan Aktif Belajar Kimia*. Setia Purna Inves. Bandung
- Susana, Tjutju. 2009. Tingkat Keasaman pH Dan Oksigen Terlarut Sebagai Indikator Kualitas Perairan Sekitar Muara Sungai Cisadane. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 5 No. 2. Hal 33–39.
- Topayung, Daud. 2011. Pengaruh Arus Listrik Dan Waktu Proses Terhadap Ketebalan Dan Massa Lapisan Yang Terbentuk Pada Proses Elektroplating Pelat Baja. *Jurnal Ilmiah Sains*. Vol 11 No.1. Hal 97.
- Utomo, Budi. 2009. Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*. Vol. 6 No. 2. Hal 138-141.
- Vlack, L.H. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, M.E., M.Met. Erlangga. Jakarta.
- Widayatno, T. and Roy, S. 2014. Nickel Electrodeposition using Enface. *Journal of Applied Electrochemistry*. Vol. 44. Hal. 807-820.
- Widayatno, Tri. 2016. Modelling and Simulation of Current Distribution of Nickel Electrodeposition from Low Electrolyte Concentration at A Narrow Interelectrode Gap. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 11 No. 8. Hal. 5183.
- Winston, Revie R, 2008, *Corrosion And Corrosion Control An Introduction To Corrosion Science And Engineering Fourth Edition*, A John Wiley & Sons, Inc.

Yulianti, D., Supriyanto, A., dan Pauzi, G. A. 2017. Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas. *Jurnal Teori dan Aplikasi*. Vol. 5 No. 1. 49-57.