

**DESAIN DAN REALISASI AKUMULATOR ELEKTROLIT AIR LAUT  
DENGAN PENAMBAHAN *SODIUM BICARBONATE* ( $\text{NaHCO}_3$ )  
SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF**

(Skripsi)

Oleh  
**Randha Kentama Arwaditha**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRAK**

### **DESAIN DAN REALISASI AKUMULATOR ELEKTROLIT AIR LAUT DENGAN PENAMBAHAN *SODIUM BICARBONATE* ( $\text{NaHCO}_3$ ) SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF**

**Oleh**

**RANDHA KENTAMA ARWADITHA**

Telah direalisasikan alat yang mampu menghasilkan daya listrik menggunakan rangkaian elektroda Cu-Zn dengan elektrolit air laut dan dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$ . Desain alat dirancang agar dapat dilakukan pengisian dan pengosongan elektrolit air laut sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif berkelanjutan. Sel elektrolit yang digunakan terdiri atas 40 sel yang dirangkai secara seri dan dalam satu sel terdapat empat pasang elektroda Cu-Zn yang dirangkai secara paralel. Pengukuran karakteristik elektrik alat menggunakan beban LED 1,2 watt. Pengujian alat pertama dengan elektrolit air laut dilakukan selama 78 jam dengan tiga kali pengisian elektrolit setiap 24 jam dan pengujian alat kedua dengan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  dilakukan selama 120 jam dengan empat kali pengisian elektrolit setiap 24 jam.. Tegangan, arus, daya, dan iluminasi yang dihasilkan alat dengan elektrolit air laut semakin lama digunakan akan semakin kecil dan hanya dapat menghidupkan LED 1,2 watt dalam 3 hari. Sedangkan dengan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  semakin lama digunakan akan semakin kecil juga dan masih dapat menghidupkan LED 1,2 watt hingga 5 hari. Laju korosi dengan elektrolit air laut semakin lama digunakan akan semakin besar, Sedangkan dengan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  tidak terjadi korosi.

**Kata Kunci :** *Air laut, elektroda, natrium bikarbonat.*

## ABSTRACT

### DESIGN AND REALIZATION ACCUMULATOR SEA WATER ELECTROLYTE WITH ADDITION *SODIUM BICARBONATE* ( $\text{NaHCO}_3$ ) AS AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE

By

**RANDHA KENTAMA ARWADITHA**

*It has been done an instrument of generating electric power by using a series of Cu-Zn electrode with sea water electrolyte and with the addition of  $\text{NaHCO}_3$ . The instrument was designed to charging and discharged sea water electrolyte that can be used as a sustainable alternative energy source. Electrolytic cell was used consisting of 40 cells arranged in series and in one cell, there are four pairs of Cu-Zn electrodes that are arranged in parallel. Measurement of the electrical characteristics of the instrument using a LED 1.2 watts. The first instrument with sea water electrolyte was tested in 78 hours with three times electrolyte charging every 24 hours and the second instrument with sea water with electrolytes added  $\text{NaHCO}_3$  was tested in 120 hours with four times electrolyte charging every 24 hours. Voltage, Current, Power, and Illumination were generated by an instrument with sea water electrolyte, the longer used will be smaller and can only turn the LED of 1.2 watts for 3 days. While the sea water with electrolytes added  $\text{NaHCO}_3$ , the longer used will be smaller too, and they can turn on the LED 1.2 watts to 5 days. Corrosion rate with the longer electrolytic sea water used will be higher, while the sea water with electrolytes added  $\text{NaHCO}_3$  no corrosion Occurs.*

**Keywords:** *Electrodes, sea water, sodium bicarbonate.*

**DESAIN DAN REALISASI AKUMULATOR ELEKTROLIT AIR LAUT  
DENGAN PENAMBAHAN *SODIUM BICARBONATE* ( $\text{NaHCO}_3$ )  
SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF**

Oleh

***RANDHA KENTAMA ARWADITHA***

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
**SARJANA SAINS**

Pada

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



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Skripsi : DESAIN DAN REALISASI AKUMULATOR  
ELEKTROLIT AIR LAUT DENGAN  
PENAMBAHAN *SODIUM BICARBONATE*  
( $\text{NaHCO}_3$ ) SEBAGAI SUMBER ENERGI  
ALTERNATIF**

**Nama Mahasiswa : *Randha Kentama Arwaditha***

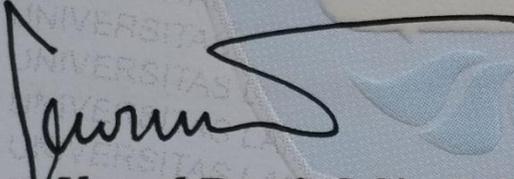
**Nomor Pokok Mahasiswa : 1217041041**

**Jurusan : Fisika**

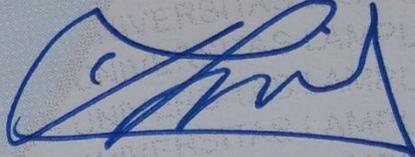
**Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

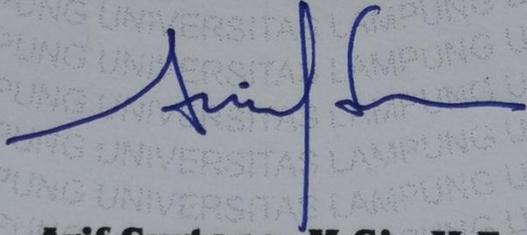
  
**Gurun Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**

**NIP 19801010 200510 1 002**

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

**NIP 19650407 199111 1 001**

**2. Ketua Jurusan Fisika**

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

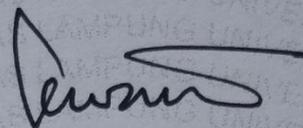
**NIP 19710909 200012 1 001**

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

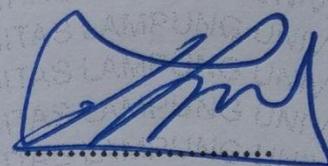
Ketua

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



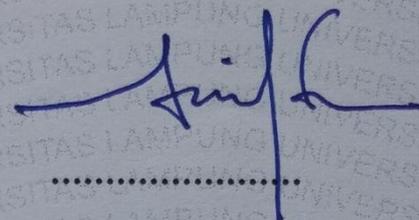
Sekretaris

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

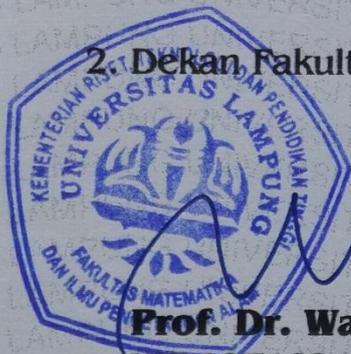


Penguji

Bukan Pembimbing : **Arif Surtono, M.Si., M.Eng.**

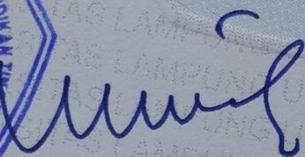


### 2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.**

NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **30 Mei 2017**

## PERNYATAAN

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

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung,



Randha Kentama Arwaditha  
NPM. 1217041041

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 16 November 1993, anak pertama dari 3 bersaudara pasangan Bapak Arif Sudewo dan Ibu Rosilawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di RA Nurul Amal Tambun-Bekasi tahun 1998, MDA Nurul Amal Tambun-Bekasi tahun 2002, SDN 2 Bandar Agung tahun 2005, SMP N 3 Terbanggi Besar tahun 2008 dan SMK N 2 Terbanggi Besar tahun 2011.

Pada tahun 2012, penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN Ujian Tertulis. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus antara lain sebagai Anggota Magang Bidang Sosial Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila tahun 2012/2013, Anggota Bidang Sosial Masyarakat HIMAFI FMIPA Unila tahun 2013/2014, Anggota Bidang Kesekretariatan dan Rumah Tangga HIMAFI FMIPA Unila tahun 2014/2015, Sekretaris Umum *Physics Instrumentation Club* FMIPA Unila tahun 2014/2015 dan 2015/2016. Penulis juga pernah mendapatkan dana hibah PKM-Kewirausahaan pada tahun 2013 yang diselenggarakan oleh DIKTI. Penulis juga aktif sebagai asisten praktikum dalam berbagai mata kuliah fisika dan instrumentasi.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Great Giant Peneapple, Lampung Tengah pada tahun 2014 dan melaksanakan Kerja Kuliah Nyata (KKN) pada tahun 2016 di Desa Sungai Burung, Kec. Dente Teladas, Kab. Tulang Bawang. Pada tahun 2017, penulis menyelesaikan skripsi dengan judul “Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut Dengan Penambahan *Sodium Bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ) Sebagai Sumber Energi Alternatif”.

## *MOTTO*

*Jadikan Hidup Lebih Baik*

*Jangan menyesali apa yang telah terjadi, lihat sisi positifnya,  
berdoa dan lakukan yang terbaik*

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan  
kesanggupannya*

*(QS. Al-Baqarah : 286)*

*Imagination is more important than knowledge*

*--Albert Einstein--*

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,  
Aku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang  
ku cintai dan ku sayangi karena Allah SWT**

*Kedua Orang Tua (Bapak Arif Sudewo dan Ibu Rosilawati)  
dan Keluarga Besar*

*Terimakasih atas segala Do'a dan pengorbanan yang telah diberikan  
hingga aku mampu menyelesaikan pendidikan S1.*

*Bapak-Ibu guru serta Bapak-Ibu dosen*

*Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah  
membuka hati dan wawasanku*

*Para sahabat dan teman-teman seperjuangan*

*Terima kasih atas kebaikan kalian dan kebersamaan yang kita lalui*

*dan*

*Almamaterku tercinta  
Universitas Lampung*

## KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahim,

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Desain dan Realisasi Akumulator Elektrolit Air Laut Dengan Penambahan *Sodium Bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ) Sebagai Sumber Energi Alternatif**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di bidang keahlian Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Skripsi ini dilaksanakan dari bulan Agustus 2016 sampai November 2016 bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penekanan skripsi ini adalah dihasilkannya sebuah alat yang mampu menghasilkan daya listrik dari elektroda Cu-Zn dan elektrolit air laut dengan penambahan *Sodium Bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ) sebagai sumber energi alternatif berkelanjutan.

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

Bandar Lampung,

Penulis

## SANWACANA

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

1. Kedua orang tuaku (Bapak Arif Sudewo dan Ibu Rosilawati), dan kedua adikku yang selalu memberikan motivasi dan do'a.
2. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng. selaku Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberika kritik dan saran selama penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., Ibu Sri Wahyu Sicuti, M.Si., Bapak Bambang Joko Suroto, S.Si., M.T., dan Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D yang secara bergantian menjadi Pembimbing Akademik yang telah membantu dan memberikan nasihat dan motivasi dari masuk kuliah sampai dengan menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

7. Bapak Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
9. Teman-teman seperjuangan 9 Bit: Jovizal Aristian, S.Si., Ma'sum Ansori, S.Si., M. Iqbal Yuliansyah, Kuswanto, Irsan, S.Si., Tri Sumanzaya, Giri Amirul Mukminin, dan Duwi Hariyanto, S.Si. Terimakasih untuk kalian semua semoga kita tetap solid dan sukses.
10. Teman-teman seperjuangan Mafia 12, kakak-kakak tingkat, serta adik-adik tingkat yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan tugas akhir.

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

Bandar Lampung,  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</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>xxiii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	4
E. Batasan Penelitian.....	5

## II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait .....	6
a. Implementasi Buah Mangga Sebagai Energi dengan Rangkaian Paralel .....	6
b. Produksi <i>Brown's Gas</i> hasil elektrolisis H <sub>2</sub> O dengan Katalis NaHCO <sub>3</sub> .....	7
c. Kemampuan Termoelektrik dari Air Laut dan Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	8
d. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut .....	10
B. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya .....	11
C. Teori Dasar .....	12
a. Elektrokimia .....	12
b. Elektrolisis .....	14
c. Elektrolit .....	15
d. Elektroda.....	17
e. Jenis-jenis elektroda.....	18
f. Potensial Elektroda .....	18
g. Karakteristik Elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn).....	22
h. Ikatan Kimia .....	25
i. Karakteristik Air Laut.....	26
j. Besaran Listrik.....	30
k. Korosi .....	32
l. <i>Sodium Bicarbonate</i> (NaHCO <sub>3</sub> ) .....	36

## III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
B. Alat dan Bahan .....	37
C. Prosedur Penelitian dan Desain Alat .....	38
D. Diagram Alir.....	42
E. Rancangan Data Hasil Penelitian .....	43
F. Rancangan Grafik Hasil Penelitian.....	44

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Realisasi dan Analisis Alat .....	46
a. Analisa elektroda dan elektrolit .....	46
b. Realisasi Alat .....	48
B. Hasil Penelitian .....	50
a. Elektrolit Air Laut .....	54
1. Analisa Karakteristik Hari Pertama .....	54
2. Analisa Karakteristik Hari Kedua .....	59
3. Analisa Karakteristik Hari Ketiga .....	65
4. Analisa Karakteristik Hari Keempat .....	70
b. Elektrolit Air Laut Ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ .....	75
1. Analisa Karakteristik Hari Pertama .....	75
2. Analisa Karakteristik Hari Kedua .....	81
3. Analisa Karakteristik Hari Ketiga .....	86
4. Analisa Karakteristik Hari Keempat .....	92
5. Analisa Karakteristik Hari Kelima .....	97
c. Analisa Perbandingan Karakteristik Elektrik Selama Pengujian .....	102
1. Elektrolit Air Laut .....	102
2. Elektrolit Air Laut Ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ .....	105
d. Analisa Korosi .....	107
1. Elektrolit Air Laut .....	107
2. Elektrolit Air Laut Ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ .....	111

#### DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Pengukuran 6 buah mangga secara seri dengan beban .....	6
2.2. Pengukuran 18 buah mangga secara paralel dengan beban .....	6
2.3. Hubungan persentase $\text{NaHCO}_3$ terhadap konsumsi daya .....	7
2.4. Metode pengambilan data karakteristik elektrik air laut .....	10
2.5. Hasil Pengukuran energi listrik Cu-Zn dengan volume 200ml .....	11
2.6. Prinsip kerja sel Volta .....	13
2.7. Prinsip kerja sel elektrolisis .....	15
2.8. Korosi karena logam tidak homogen .....	34
2.9. Korosi galvanik pada baterai .....	35
3.1. Desain 1 sel .....	39
3.2. Desain 40 sel .....	39
3.3. Saluran Pembuangan .....	40
3.4. Saluran Pengisian .....	40
3.5. Tutup Akumulator .....	40
3.6. Keseluruhan Akumulator I .....	41
3.7. Keseluruhan Akumulator II .....	41
3.8. Diagram alir penelitian .....	42
3.9. Grafik pengukuran karakteristik energi listrik alat .....	44

4.1. Dimensi panjang dan lebar elektroda (a) elektroda tembaga (b) elektroda seng .....	47
4.2. Rangkaian sel elektrolit dan elektroda .....	48
4.3. Sel elektrolit (a) panjang sel (b) lebar sel (c) tinggi sel .....	49
4.4. Realisasi alat .....	50
4.5. Instrument pengukur keluaran alat (a) multimeter (b) light meter .....	51
4.6. Sistem pengukuran tegangan alat saat beban dilepas ( $V_{bi}$ ) dan saat diberi beban ( $V_b$ ) .....	52
4.7. Sistem pengukuran arus pada alat .....	52
4.8. Sistem pengukuran iluminasi LED .....	52
4.9. Sistem pengukuran keseluruhan .....	52
4.10. Sistem pengisian sel elektrolit .....	53
4.11. Sistem pengosongan sel elektrolit .....	53
4.12. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian pertama .....	55
4.13. Grafik daya pada saat pengujian pertama .....	56
4.14. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu pada saat pengujian pertama .....	57
4.15. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian pertama .....	59
4.16. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian kedua .....	60
4.17. Grafik daya pada saat pengujian kedua .....	62
4.18. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu	

pada saat pengujian kedua .....	62
4.19. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian kedua..	64
4.20. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam	
pengujian ketiga .....	66
4.21. Grafik daya pada saat pengujian ketiga .....	67
4.22. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu	
pada saat pengujian ketiga .....	68
4.23. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian	
pertama .....	70
4.24. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 3 jam	
pengujian keempat .....	71
4.25. Grafik daya pada saat pengujian keempat .....	73
4.26. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu	
pada saat pengujian keempat .....	73
4.27. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu	
pengujian keempat .....	75
4.28. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam	
pengujian pertama .....	76
4.29. Grafik daya pada saat pengujian pertama .....	78
4.30. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu	
pada saat pengujian pertama .....	78
4.31. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian	
pertama .....	80

4.32. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian kedua .....	82
4.33. Grafik daya pada saat pengujian kedua .....	84
4.34. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu pada saat pengujian kedua .....	84
4.35. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian kedua..	86
4.36. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian ketiga .....	87
4.37. Grafik daya pada saat pengujian ketiga .....	89
4.38. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu pada saat pengujian ketiga .....	89
4.39. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian pertama .....	91
4.40. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian keempat .....	93
4.41. Grafik daya pada saat pengujian keempat .....	94
4.42. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu pada saat pengujian keempat .....	95
4.43. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian keempat .....	96
4.44. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 24 jam pengujian kelima .....	98
4.45. Grafik daya pada saat pengujian kelima .....	99

4.46. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu pada saat pengujian kelima .....	100
4.47. Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu pengujian kelima .....	102
4.48. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 4 hari pengujian .....	103
4.49. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu selama 4 hari pengujian .....	104
4.50. Grafik Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu selama 4 hari pengujian .....	104
4.51. Grafik perubahan tegangan saat beban dilepas selama 5 hari pengujian .....	106
4.52. Grafik hubungan antara tegangan, arus, dan daya terhadap waktu selama 5 hari pengujian .....	106
4.53. Grafik Hubungan antara iluminasi LED 1,2 watt dan waktu selama 5 hari pengujian .....	106
4.54. Korosi seng air laut hari pertama .....	108
4.55. Korosi seng air laut hari kedua .....	108
4.56. Korosi seng air laut hari ketiga .....	109
4.57. Korosi seng air laut hari keempat .....	109
4.58. Korosi seng air laut hari kelima .....	110
4.59. Korosi seng air laut hari kelima (a) satu sel (b) 40 sel .....	111
4.60. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari pertama .....	112
4.61. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari kedua .....	113

4.62. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari ketiga .....	113
4.63. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari keempat .....	114
4.64. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari kelima .....	114
4.65. Korosi seng air laut ditambahkan $\text{NaHCO}_3$ hari kelima (a) satu sel (b) 40 sel .....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Bubuk Karbon 40,63 g .....	9
2.2. Bubuk Karbon 30,32 g .....	9
2.3. Air Murni .....	9
2.4. Air Laut .....	9
2.5. Perbandingan elektrolit kuat, lemah, dan non elektrolit. ....	16
2.6. Nilai potensial deret Volta .....	21
2.7. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni .....	23
2.8. Komposisi air laut pada salinitas 35‰ .....	28
2.9. Komposisi air laut pada massa jenis 1,0258 kg/liter .....	29
2.10. Tingkat kepekatan dan senyawa yang terendapkan dari air laut .....	29
2.11. Kelarutan ion dalam air berdasarkan kemampuan pengendapannya ..	30
3.1. Data pengukuran karakteristik energi listrik alat .....	43
3.2. Data perhitungan karakteristik energi listrik alat .....	43
3.3. Data pengukuran kelajuan korosi.....	44
4.1. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian pertama .....	54
4.2. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian pertama .....	56
4.3. Data pengukuran iluminasi LED pengujian pertama .....	58
4.4. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian kedua .....	60

4.5. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian kedua .....	61
4.6. Data pengukuran iluminasi LED pengujian kedua .....	64
4.7. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian ketiga .....	65
4.8. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian ketiga .....	67
4.9. Data pengukuran iluminasi LED pengujian ketiga .....	69
4.10. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian keempat ....	71
4.11. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian keempat .....	72
4.12. Data pengukuran iluminasi LED pengujian keempat .....	74
4.13. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian pertama ....	76
4.14. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian pertama .....	77
4.15. Data pengukuran iluminasi LED pengujian pertama .....	80
4.16. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian kedua .....	81
4.17. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian kedua .....	83
4.18. Data pengukuran iluminasi LED pengujian kedua .....	85
4.19. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian ketiga .....	87
4.20. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt pengujian ketiga .....	88
4.21. Data pengukuran iluminasi LED pengujian ketiga .....	91
4.22. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian keempat ....	92

4.23. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt	
pengujian keempat .....	94
4.24. Data pengukuran iluminasi LED pengujian keempat .....	96
4.25. Karakteristik tegangan alat saat beban dilepas pengujian kelima .....	97
4.26. Karakteristik elektrik alat saat diberi beban LED 1,2 watt	
pengujian kelima .....	99
4.27. Data pengukuran iluminasi LED pengujian kelima .....	101
4.28. Karakteristik Elektrolit Air Laut Dalam 4 hari .....	103
4.29. Karakteristik Elektrolit Air Laut Ditambahkan NaHCO <sub>3</sub> Dalam	
5 hari .....	105
4.30. Laju Korosi Elektrolit Air Laut .....	107
4.31. Laju Korosi Elektrolit Air Laut ditambahkan NaHCO <sub>3</sub> .....	111

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman, hal ini disebabkan oleh penambahan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat. Berdasarkan data ketenagalistrikan nasional tahun 2015, total kapasitas pembangkit yang terpasang adalah sebesar 53.585 MW dengan rincian 70% PLN, 5% *private power utility* (PPU) yang merupakan pembangkit terintegrasi, 20% *independent power producer* (IPP) yang merupakan listrik swasta, dan 5% pembangkit ijin operasi non BBM. Permintaan listrik diperkirakan meningkat dengan laju pertumbuhan 8,8% per tahun. Persentase pemakaian listrik per golongan yaitu, rumah tangga 43%, industri 33%, bisnis 18% dan publik 6% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015).

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2015, sebagian besar sumber energi listrik di Indonesia disuplai oleh batubara 52,8%, gas 24,2%, BBM 11,7%, panas bumi 4,4%, air 6,5%, dan hanya 0,4 % berasal dari energi alternatif lainnya. Salah satu sumber energi alternatifnya adalah air laut yang masih sangat jarang digunakan sebagai sumber energi listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah upaya untuk menghasilkan sumber energi alternatif. Energi listrik melalui elektrokimia merupakan salah

satu energi listrik alternatif yang dapat dihasilkan dengan memanfaatkan proses reduksi-oksidasi. Penelitian tentang kelistrikan elektrokimia ini merupakan pengembangan hasil penelitian Alexander Volta. Volta memperlihatkan bahwa jika dua buah elektroda dengan beda potensial dimasukkan ke dalam larutan elektrolit larutan asam atau garam maka akan dihasilkan energi listrik. Salah satu bahan elektrolit yang melimpah di Indonesia adalah air laut. Berdasarkan data kementerian kelautan dan perikanan tahun 2008 luas lautan Indonesia adalah 5,8 juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari, laut teritorial 0,8 juta km<sup>2</sup>, zona ekonomi eksklusif 2,7 juta km<sup>2</sup>, dan laut nusantara 2,3 juta km<sup>2</sup>. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki pulau sebanyak 17.480 dan garis pantai sepanjang 95.181 km, sehingga keadaan ini sangat mendukung untuk menghasilkan energi alternatif dari elektrolit air laut.

Analisis karakteristik elektrik air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan telah diteliti oleh Hudaya (2016), dengan menggunakan tiga variabel elektroda yaitu C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa elektrolit air laut yang dihubungkan dengan ketiga pasangan elektroda tersebut sudah dapat menghasilkan energi listrik, dengan variasi bahan elektroda dan volume air laut. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin lama penggunaan elektrolit air laut dengan beban yang diberikan, maka energi listrik yang dihasilkan akan semakin berkurang.

Analisis penambahan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) pada air dan hubungan jumlah energi elektrolisis, serta mendapatkan persentase  $\text{NaHCO}_3$  yang

terbaik telah diteliti oleh Marlina dkk. (2013), dengan persentase  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% serta volume air sebanyak 500 ml. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan  $\text{NaHCO}_3$ , maka akan semakin besar dalam menghantarkan arus listrik. Karena  $\text{NaHCO}_3$  yang terlarut dalam air akan terurai menjadi anion  $\text{Na}^+$  dan kation  $\text{HCO}_3^-$ , anion dan kation tersebut akan menghantarkan arus listrik didalam air. Daya terbesar yang didapatkan adalah dengan persentase  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 12,5%.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, akan dibuat sebuah desain dan realisasi akumulator elektrolit air laut dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 12,5% dan menggunakan empat pasang elektroda positif dan negatif yang terpasang paralel dalam satu sel, yang terbuat dari elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan dimensi lebar 4 cm dan panjang 9 cm dengan sistem pengisian ulang elektrolit, hal ini bertujuan untuk menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan dan dapat dikembangkan sebagai energi listrik yang mudah didapatkan. Desain dibuat 40 sel dengan sistem tertutup, kemudian elektroda dimasukkan pada sel tersebut dengan volume air laut  $\pm 200$  ml. Energi listrik yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat diaplikasikan sebagai energi terbarukan secara berkelanjutan dalam kehidupan sehari-hari.

## **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana membuat desain dan realisasi akumulator elektrolit air laut dengan penambahan *sodium bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ) dan elektroda Cu-Zn secara tertutup dengan sistem berkelanjutan.
2. Berapa besar energi listrik maksimum yang dihasilkan dari desain akumulator.
3. Berapa lama energi listrik yang dapat digunakan setiap pengisian ulang elektrolit.

## **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan sebuah desain sistem akumulator elektrolit air laut dengan penambahan *sodium bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ) dan elektroda Cu-Zn secara tertutup dengan sistem berkelanjutan.
2. Mengetahui energi listrik maksimum yang dihasilkan dari desain akumulator yang dibuat.
3. Mengetahui lamanya energi listrik yang dapat digunakan setiap pengisian ulang elektrolit

## **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan sebuah alat yang memanfaatkan air laut sebagai sumber energi listrik terbarukan secara berkelanjutan.
2. Menciptakan akumulator air laut yang dapat digunakan oleh para nelayan.

### E. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Desain rangka sel akumulator dibuat dari bahan akrilik.
2. Sel elektrolit yang digunakan berjumlah 40 dengan volume elektrolit sebanyak  $\pm 200$  ml per sel.
3. Elektrolit yang digunakan yaitu air laut dan air laut yang ditambahkan dengan *sodium bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ).
4. Menggunakan empat pasang elektroda positif dan negatif yang terpasang paralel dalam 1 sel, yang terbuat dari elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan dimensi lebar 4 cm dan panjang 9 cm.
5. Membandingkan data energi listrik 40 sel disusun secara seri pada setiap elektrolit.
6. Data diambil setiap 3 jam sekali dalam 5 x 24 jam berturut-turut dengan pengisian ulang elektrolit setiap 24 jam sekali.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terkait

#### a. Implementasi Buah Mangga sebagai Energi dengan Rangkaian Paralel

Penelitian dilakukan oleh Sadad (2012). Penelitian tersebut menggunakan buah mangga sebagai elektrolitnya, dan menggunakan elektroda Cu-Zn. Pengukuran dilakukan dengan menyusun 6 buah mangga secara seri dan 18 buah mangga secara paralel. Buah mangga yang disusun secara seri ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pengukuran 6 buah mangga secara seri dengan beban

Ketika proses pengukuran secara seri, saat diukur dengan multimeter tanpa beban tegangan yang dihasilkan mencapai 5V.

Buah mangga yang disusun secara paralel ditunjukkan pada Gambar 2.2.

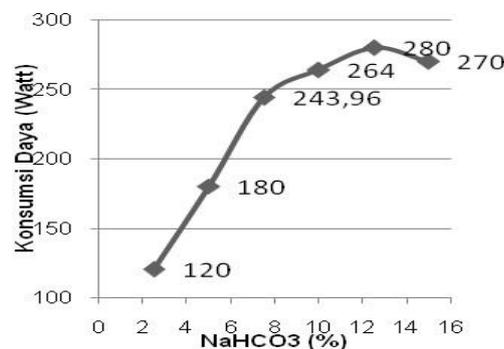


Gambar 2.2. Pengukuran 18 buah mangga secara paralel dengan beban

Pengukuran secara paralel dilakukan selama 13 jam dengan 6 lampu LED sebagai beban. Tegangan yang dihasilkan rangkaian paralel ini bisa mencapai 2,5 V. Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian alat, maka dapat diambil kesimpulan dari hasil tabel bahwa energi listrik yang dihasilkan rangkaian seri tidak stabil sedangkan rangkaian paralel stabil.

### b. Produksi *Brown's Gas* hasil elektrolisis H<sub>2</sub>O dengan Katalis NaHCO<sub>3</sub>

Penelitian tentang penambahan *sodium bicarbonate* (NaHCO<sub>3</sub>) pada elektrolit air aquades dilakukan oleh Marlina dkk. (2013). Penelitian tersebut bertujuan untuk memaksimalkan produksi gas Brown dengan persentase NaHCO<sub>3</sub> yang berbeda dalam elektrolit air aquades 500 ml, yaitu 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15%.



Gambar 2.3. Hubungan persentase NaHCO<sub>3</sub> terhadap konsumsi daya (Marlina dkk., 2013)

Larutan elektrolit dalam air terdisosiasi ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif). Jumlah muatan ion positif akan sama dengan jumlah muatan ion negatif, sehingga muatan ion dalam larutan menjadi netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik. Semakin banyaknya kandungan NaHCO<sub>3</sub> dalam air, maka kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik

akan semakin besar. Karena  $\text{NaHCO}_3$  yang terlarut dalam air akan terurai menjadi anion  $\text{Na}^+$  dan kation  $\text{HCO}_3^-$ . Anion dan kation akan mengantarkan arus listrik di dalam air. Sehingga semakin banyak  $\text{NaHCO}_3$  yang terlarut dalam air, maka akan semakin besar pula arus listrik yang dapat dihantarkan oleh larutan elektrolit tersebut.

Terdapat beda potensial dalam rangkaian yang melalui larutan elektrolit, maka energi listrik akan digunakan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air. Tetapi kenaikan energi listrik yang digunakan tidak naik secara linier terhadap kenaikan kandungan  $\text{NaHCO}_3$  dalam air, karena semakin banyak kandungan  $\text{NaHCO}_3$  dalam air akan membuat larutan elektrolit semakin jenuh/larutan semakin pekat, sehingga gerakan anion dan kation menjadi terbatas. Pada larutan pekat, pergerakan ion lebih sulit sehingga daya hantarnya menjadi lebih rendah. Oleh karena itu kenaikan grafik konsumsi daya terhadap kenaikan kandungan semakin melandai. Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa konsumsi daya terbesar adalah pada prosentase  $\text{NaHCO}_3$  12,5% dengan konsumsi daya listrik sebesar 280 Watt.

### **c. Kemampuan Termoelektrik dari Air Laut dan $\text{Al}_2\text{O}_3$**

Penelitian ini dilakukan oleh Wang (2014) dari Taiwan untuk percobaan fasilitas baterai air laut. Telah dirancang sebuah metode baru untuk mengeksplorasi berapa kali baterai air laut dapat diisi ulang. Masing-masing mengukur tegangan setiap 10 menit dengan resistansi  $2,95 \text{ k}\Omega$ , selain itu dengan membiarkan baterai air laut kehilangan daya dengan sendirinya secara alami dan mencatat tegangan setiap 30 menit.

Dari hasil ini, sedikit getaran pada baterai air laut akan mengganggu nilai tegangan, dan nilainya akan stabil untuk sementara waktu. Hal ini mungkin dapat diatasi dengan merancang baterai air laut seri-paralel di masa depan. Percobaan ini mempelajari hubungan antara debit dan bidang kontak dari elektroda baterai air laut.

Table 2.1. Bubuk Karbon 40,63 g

Waktu (menit)	20	40	60	80	100	120	140
Tegangan (V)	0.39	0.37	0.45	0.27	0.32	0.26	0.29

Tabel 2.2. Bubuk Karbon 30,32 g

Waktu (menit)	20	40	60	80	100	120	140
Tegangan (V)	0.34	0.37	0.41	0.27	0.30	0.23	0.30

Tabel 2.3. Air Murni

Sel Seri	1	2	3	4	5
Tegangan (V)	0.52	0.87	1.12	1.78	2.09
Arus (mA)	0.13	0.15	0.14	0.09	0.08

Tabel 2.4. Air Laut

Sel Seri	1	2	3	4	5
Tegangan (V)	0.33	0.81	1.18	1.56	2.13
Arus (mA)	1.20	1.55	1.35	1.20	1.25

Dalam penelitian ini,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki potensi Zeta 2,33 mV, dengan ukuran partikel 101,8 nm, nilai pH 5,516, konduktivitas termal 0,66 W/(mK), viskositas 1,21 cP, dan absorbansi 1,844, 2,011, dan 2,295, panjang gelombang cahaya 350 nm, 400 nm, dan 500 nm melalui uji termo-cairan dari berbagai instrumen.

Output tegangan dan arus dari elektrolit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan air keran secara kasar menunjukkan tren yang meningkat dengan meningkatnya suhu. Selanjutnya, arus keluaran  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jauh lebih tinggi daripada air keran. Rata-rata 4,5 kali.

Namun, setelah dua data tersebut didapatkan dan dibandingkan dengan sifat penyebaran  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , kami masih menemukan beberapa masalah.

Pertama, elektroda ditempatkan di bagian depan sel tunggal pertama harus diperiksa apakah terjadi oksidasi dengan elektrolit, jika oksidasi, bagian pertama akan terus mengikis dan akan terjadi reaksi redoks secara perlahan. Kedua, karena elektrolit akan dicoba dihangatkan secara bertahap untuk mendeteksi perubahan arus dan tegangan pada suhu yang berbeda, dan waktu ketika memuai, itu akan membuat elektrolit dalam sel menguap. Penguapan ini akan mempengaruhi konsentrasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam elektrolit dan juga  $\text{Al}_2\text{O}_3$  secara bertahap akan melekat ke elektroda, dan ini akan mempengaruhi reaksi redoks elektroda.

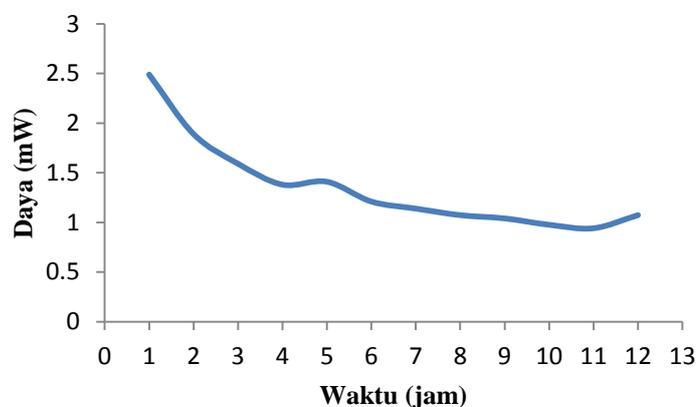
#### **d. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut**

Penelitian tentang karakteristik elektrik air laut telah dilakukan oleh Encep Hudaya (2016). Pada penelitian ini digunakan salinitas air laut sebesar 3,5%, dengan variasi volume air laut 30 ml, 40 ml, 50 ml, 100 ml, dan 200 ml yang diletakkan pada sel elektrolit yang berjumlah 20 sel. Pada penelitian ini juga diberikan tiga pasangan elektroda yaitu, C-Zn, Cu-Al, dan Cu-Zn. Metode pada penelitian ini adalah sistem pengukuran secara langsung dengan diberi beban dan tanpa beban pada elektroda seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Metode pengambilan data karakteristik elektrik air laut (Hudaya, 2016)

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada saat diberikan beban, semakin besar volume air laut maka tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan akan semakin besar. Namun tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan pada saat tanpa beban. Pasangan elektroda yang menghasilkan tegangan terbesar ketika pengukuran tanpa beban dihasilkan oleh C-Zn sebesar 17,46 V dengan volume air laut 100 ml, sedangkan saat diberi beban pasangan elektroda Cu-Zn menghasilkan tegangan terbesar yaitu 4,34 V, arus sebesar 0,620 mA, dan daya listrik sebesar 2,693 mW dengan volume air laut 200 ml. Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran lamanya energi yang dihasilkan oleh pasangan elektroda Cu-Zn dengan volume air laut 200 ml selama 12 jam, dengan diberikan resistor 1000  $\Omega$  dan 5 LED putih. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Hasil Pengukuran energi listrik Cu-Zn dengan volume 200ml (Hudaya, 2016)

## B. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya

Penelitian ini akan dikembangkan desain inovasi sistem akumulator elektrolit air laut dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 12,5% dan menggunakan empat pasang elektroda positif dan negatif yang terpasang paralel dalam 1 sel, yang

terbuat dari elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan dimensi lebar 4 cm dan panjang 9 cm dengan sistem pengisian ulang elektrolit, hal ini bertujuan untuk menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan dan dapat dikembangkan sebagai energi listrik yang mudah didapatkan. Desain akan dibuat 40 sel dengan sistem tertutup, kemudian elektroda dimasukkan pada sel tersebut dengan volume air laut  $\pm 200$  ml.

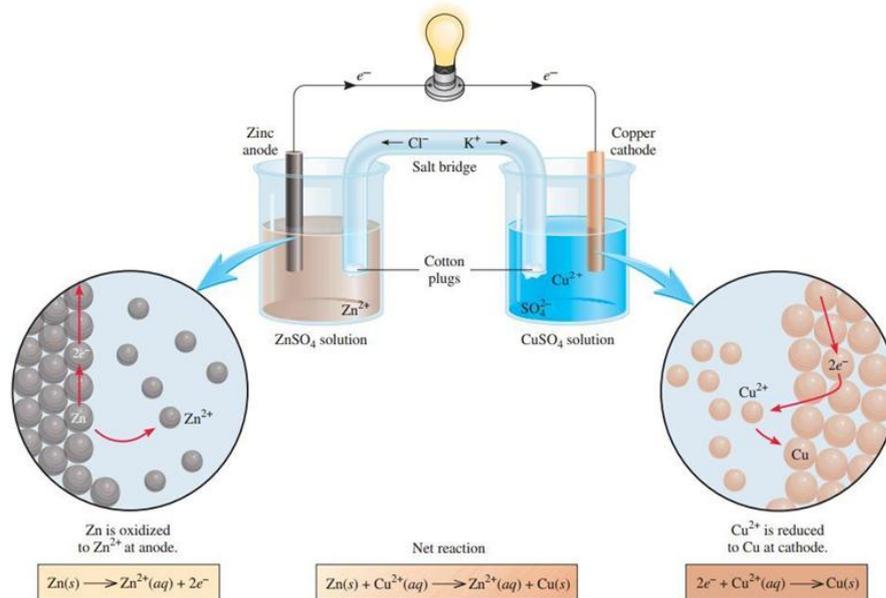
Sistem ini akan di desain sehingga dapat dilakukan pengisian ulang elektrolit air laut apabila energi listriknya sudah mulai berkurang. Selanjutnya akan dilakukan pengujian karakteristik dari alat, untuk mengetahui tegangan maksimum, arus maksimum, dan hambatan dalam dari alat yang dihasilkan. Selanjutnya akan dianalisis seberapa lama alat mampu menghasilkan energi listrik setelah diberikan beban, dan bagaimana penurunan kapasitas energi listrik yang dihasilkan setelah dilakukan pengisian ulang. Kemudian akan dianalisis kelajuan korosi pada elektroda.

## **C. Teori Dasar**

### **a. Elektrokimia**

Salah satu sumber energi listrik yang dapat dihasilkan yaitu melalui elektrokimia. Elektrokimia ini sendiri merupakan reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi atau biasa disingkat dengan redoks. Peristiwa elektrokimia telah dilakukan pada tahun 1737-1798 oleh Volta dan Luigi Galvani yang menghasilkan perdebatan diantara keduanya, dan akhirnya eksperimen Volta menunjukkan bahwa apabila dua elektroda yang memiliki beda potensial dihubungkan

melalui elektrolit, maka akan mengalir arus listrik diantara kedua elektroda tersebut. Eksperimen Volta ini lah yang menjadi prinsip kerja baterai (Giancoli, 1998). Prinsip kerja sel elektrokimia dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Prinsip kerja sel Volta (Zoski, 2007).

Bila dua buah elektroda yang berbeda jenisnya (misal elektroda Zn dan elektroda Cu) dihubungkan dengan kawat yang dilengkapi lampu, juga dihubungkan dengan jembatan garam, maka logam Zn akan teroksidasi menjadi  $Zn^{2+}$ , persamaan reaksi ini dapat dilihat pada persamaan 2.1.



Elektron yang dihasilkan oleh Zn mengalir melalui lampu menuju ke arah elektroda Cu. Selanjutnya elektron tersebut ditangkap oleh ion Cu dalam larutan  $CuSO_4$ , persamaan reaksi ini dapat dilihat pada persamaan 2.2.



Cu yang dihasilkan mengendap pada batang logam Cu, sehingga batang logam Cu makin tebal. Logam Zn mengalami oksidasi, maka elektroda ini disebut anoda, dan menjadi kutub negatif (karena menghasilkan elektron). Ion

Cu mengalami reduksi menjadi Cu dan menempel pada katoda sebagai kutub positif. Perpindahan elektron dari anoda ke katoda menyebabkan larutan di anoda kelebihan muatan positif karena bertambahnya ion Zn. Larutan di katoda kelebihan muatan negatif karena berkurangnya ion Cu. Untuk menetralkan muatan listrik, dipasang jembatan garam, yaitu larutan  $\text{NaNO}_3$  atau KCl dalam agar-agar yang dimasukkan dalam pipa U. Notasi dari persamaan reaksi ini dapat dilihat pada persamaan 2.3.

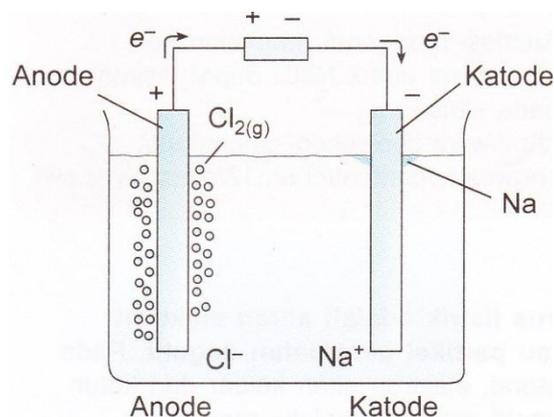


Sel elektrokimia merupakan alat yang digunakan untuk melangsungkan perubahan reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam sebuah sel, energi listrik dihasilkan dengan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Jadi sebuah sel selalu terdiri atas anoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi oksidasi, katoda sebagai elektroda tempat berlangsungnya reaksi reduksi dan larutan elektrolit/ionik untuk menghantarkan arus (Dogra,1990).

### **b. Elektrolisis**

Menurut Dogra (1990) elektrolisis adalah suatu proses dimana reaksi kimia terjadi pada elektroda yang tercelup dalam elektrolit, ketika tegangan diberikan pada elektroda tersebut. Alat tempat berlangsungnya elektrolisis disebut sel elektrolisis. Elektrolisis merupakan peristiwa terurainya larutan

elektrolit, oleh arus listrik searah. Berbeda dengan sel Volta, pada sel elektrolisis ini energi listrik digunakan untuk berlangsungnya reaksi kimia. Secara sederhana elektrolisis dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.7. Prinsip kerja sel elektrolisis (Bagotsky, 2006).

Mengalirnya arus listrik searah, menyebabkan ion-ion dalam larutan bergerak menuju ke arah elektroda yang muatannya berlawanan. Ion-ion positif (kation) menuju ke elektroda negatif (katoda) dan selanjutnya mengalami reaksi reduksi, sebaliknya ion-ion negatif (anion) menuju ke elektroda positif (anoda), yang akan mengalami reaksi oksidasi (Dogra, 1990).

### c. Elektrolit

Air adalah pelarut (*solven*) yang baik untuk senyawa ion, larutan air mempunyai sifat-sifat yang khas, salah satunya dapat menghantarkan arus listrik. Namun apabila elektroda dicelupkan ke dalam air murni dan terhubung dengan sumber listrik dan bola lampu, maka bola lampu tidak akan menyala karena air adalah konduktor listrik yang sangat buruk. Akan tetapi, apabila suatu senyawa ion yang larut seperti NaCl ditambahkan pada air tersebut maka bola lampu dapat menyala dengan terang. Senyawa NaCl

tersebut membuat larutan menjadi konduktor listrik yang disebut elektrolit. Keterangan tentang elektrolit ini pertama kali diberikan oleh Svante Arrhenius, seorang ahli kimia dari Swedia (Brady, 1999). Larutan elektrolit dikelompokkan menjadi elektrolit kuat, elektrolit lemah, dan non elektrolit seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Perbandingan elektrolit kuat, lemah, dan non elektrolit (Brady, 1999).

Jenis Larutan	Sifat	Contoh senyawa	Reaksi ionisasi
Elektrolit kuat	terionisasi sempurna, menghantarkan arus listrik, lampu dapat menyala terang, terdapat gelembung gas	NaCl, HCl, NaOH, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , dan KCl	NaCl → Na <sup>+</sup> + Cl <sup>-</sup> NaOH → Na <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> → 2H <sup>+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Elektrolit lemah	terionisasi sebagian, menghantarkan arus listrik, lampu dapat menyala redup, terdapat gelembung gas	CH <sub>3</sub> COOH, Na <sub>4</sub> OH, HCN, Al(OH) <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> COOH → H <sup>+</sup> + CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> HCN → H <sup>+</sup> + CN <sup>-</sup> Al(OH) <sub>3</sub> → Al <sup>+</sup> + 3OH <sup>-</sup>
Non elektrolit	tidak terionisasi, tidak menghantarkan listrik, tidak dapat menyalakan lampu, tidak terdapat gelembung gas	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> , C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	

Larutan elektrolit dalam air terdisosiasi ke dalam partikel-partikel bermuatan listrik positif dan negatif yang disebut ion (ion positif dan ion negatif). Jumlah muatan ion positif akan sama dengan jumlah muatan ion negatif,

sehingga muatan ion-ion dalam larutan menjadi netral. Ion-ion inilah yang bertugas menghantarkan arus listrik.

Kekuatan suatu elektrolit ditandai dengan suatu besaran yang disebut 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 yang terurai menjadi ion sedangkan non elektrolit memiliki harga  $\alpha = 0$ , karena tidak ada yang terurai menjadi ion (Chang, 2003).

#### **d. Elektroda**

Elektroda adalah konduktor yang dapat dilalui arus listrik dari satu media ke media yang lain. Elektroda biasanya terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi terdapat juga elektroda yang terbuat dari bahan konduktor listrik non-logam, seperti grafit. Elektroda dapat digunakan dalam baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis (Chang, 2003). Dalam kasus arus searah (DC), elektroda datang berpasangan, dan dikenal sebagai anoda dan katoda. Pada baterai, atau sumber DC lainnya, anoda didefinisikan sebagai elektroda ketika elektron datang dari sel elektrokimia sehingga terjadi oksidasi sedangkan katoda didefinisikan sebagai elektroda ketika elektron memasuki sel elektrokimia dan terjadi reduksi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari tegangan listrik yang diberikan terhadap sel elektrokimia tersebut. Elektroda bipolar adalah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel elektrokimia dan katoda bagi sel elektrokimia lainnya (Hiskia, 1992).

### e. Jenis-jenis Elektroda

#### 1. Anoda

Pada sel galvani, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi, bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan dan elektron akan dilepaskan oleh elektroda. Pada sel elektrolisis, sumber eksternal tegangan didapat dari luar, sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Ion-ion bermuatan negatif akan mengalir pada anoda untuk dioksidasi (Dogra,1990).

#### 2. Katoda

Katoda merupakan elektroda tempat terjadinya reduksi berbagai zat kimia. Katoda bermuatan positif bila dihubungkan dengan anoda yang terjadi pada sel galvani. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif(anion). Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda untuk direduksi, dengan demikian pada sel galvani elektron bergerak dari anoda ke katoda (Dogra,1990).

### f. Potensial Elektroda

Arus listrik yang terjadi pada sel Volta disebabkan elektron mengalir dari elektroda negatif ke elektroda positif. Hal ini disebabkan karena perbedaan potensial antara kedua elektroda, misalnya kita mengukur perbedaan potensial ( $\Delta V$ ) antara dua elektroda dengan menggunakan potensiometer ketika arus listrik yang dihasilkan mengalir sampai habis, maka akan diperoleh nilai limit atau perbedaan potensial saat arus listriknya nol yang disebut sebagai

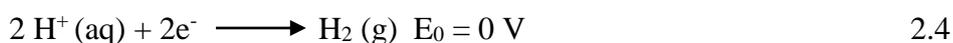
potensial sel ( $E^{\circ}_{\text{sel}}$ ). Perbedaan potensial yang diamati bervariasi dengan jenis bahan elektroda dan konsentrasi serta temperatur larutan elektrolit (Anderson, et al, 2010).

Larutan ion mengalir melalui sepasang elektroda, elektroda positif akan menarik ion negatif dan elektroda negatif akan menarik ion positif. Bahan elektroda yang ideal adalah yang memiliki konduktivitas yang tinggi, luas permukaan spesifik yaitu luas permukaan per unit berat sebesar mungkin untuk penyerapan (Oren, 2007). Pembuatan elektroda yang saat ini dikembangkan adalah menggunakan karbon aktif yang berukuran nano. Karbon aktif paling sering digunakan sebagai elektroda pada sistem ini, karena memiliki daya serap yang baik. Di Indonesia sudah banyak diproduksi karbon aktif dari tempurung kelapa.

Ketika dua buah konduktor seperti Cu-Zn dan C-Zn, terhubung melalui larutan dengan konsentrasi pembawa muatan positif dan negatif tidak seimbang, maka satu jenis pembawa muatan akan terkumpul pada satu konduktor dan lainnya akan terkumpul pada konduktor lainnya, sehingga di kedua ujung konduktor tersebut terdapat beda potensial. Sistem ini dikenal dengan sel Volta (*cell Voltaic*). Mengingat di kedua ujung konduktor terjadi reaksi redoks terus menerus, maka terjadi pertukaran pembawa muatan dari elektroda ke larutan elektrolit, maupun sebaliknya yaitu dari larutan elektrolit ke elektroda, yang menyebabkan aliran pembawa muatan (arus listrik) pada rangkaian tertutup pada kedua elektroda tersebut. Gaya gerak listrik dari sel merupakan hasil perubahan energi kimia melalui reaksi redoks (Landis,

1909). Energi listrik yang dihasilkan dari sel Volta bergantung jenis larutan dan elektroda, baik jenis material maupun modifikasi dimensi elektroda.

Potensial suatu elektroda hanya dapat dinyatakan terhadap potensial elektroda pasangannya, untuk membandingkan besar elektroda dari berbagai jenis logam digunakan potensial standar Hidrogen. Potensial standar Hidrogen adalah seperti yang diperlihatkan pada persamaan 2.4.



Hasil pengukuran potensial elektroda berbagai logam terhadap Hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dapat dilihat pada Tabel 2.6. Dari harga-harga tersebut terlihat bahwa potensial elektroda Cu terhadap Zn dapat dihitung dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$E_0 \text{ sel} = E_0 \text{ katoda} - E_{0\text{anoda}} \quad 2.5$$

Sehingga  $E_0$  sel adalah sebesar  $0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = 1,1 \text{ V}$

(Brady, 1999).

Umumnya deret Volta yang sering dipakai adalah Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Ni, Sn, Pb, H, Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt, Au. Pada deret Volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif, semakin mudah melepas elektron dan logam merupakan reduktor yang kuat dan mudah mengalami oksidasi. Sebaliknya, semakin ke kanan kedudukan suatu logam dalam deret Volta,

maka logam semakin kurang reaktif, semakin sulit melepas elektron dan logam merupakan oksidator yang kuat dan mudah mengalami reduksi,

Tabel 2.6. Nilai potensial deret Volta (Silberberg, 2000)

<b>Reaksi Reduksi</b>	<b>Logam</b>	<b>E° (volt)</b>
Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Li	-3.04
K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	K	-2.92
Ba <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ba	-2.90
Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ca	-2.87
Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Na	-2.71
Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Mg	-2.37
Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Al	-1.66
Mn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Mn	-1.18
2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> +2OH <sup>-</sup>	-0.83
Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Zn	-0.76
Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Cr	-0.71
Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Fe	-0.44
Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Cd	-0.40
Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Co	-0.28
Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Ni	-0.25
Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Sn	-0.14
Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Pb	-0.13
2H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup>	H <sub>2</sub>	0.00
Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Sn <sup>2+</sup>	+0.13
Bi <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Bi	+0.30
Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Cu	+0.34
Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup>	Ag	+0.80
Pt <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup>	Pt	+1.20
Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup>	Au	+1.50

Apabila elektroda seng dan tembaga dihubungkan, maka elektron mengalir dari seng ke tembaga. Reaksi yang terjadi dapat dilihat pada persamaan 2.6 dan 2.7.

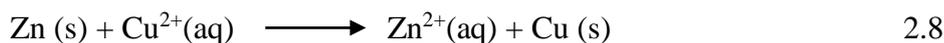
oksidasi pada elektroda seng



Reduksi pada elektroda tembaga



Jumlah kedua setengah reaksi di atas adalah sebagai berikut:



Apabila keduanya dihubungkan dengan alat pengukur tegangan dan tidak ada arus yang keluar dari sel maka terdapat perbedaan potensial 1,10 V. Potensial ini disebut Daya Gerak Listrik (DGL). Perbedaan potensial dalam suatu sel merupakan ukuran perbedaan kedua elektroda untuk “mendorong” elektron ke rangkaian luar yang merupakan “tekanan” listrik dalam menggerakkan elektron dari suatu elektroda ke elektroda lain (Hiskia, 1992).

#### **g. Karakteristik Elektroda Tembaga (Cu) dan Seng (Zn)**

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu, berasal dari bahasa latin *cuprum* dan nomor atom 29. Bernomor massa 63,54 dan merupakan unsur logam dengan warna kemerahan. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga mempunyai kekonduksian elektrik dan kekonduksian haba yang tinggi diantara semua logam-logam tulen dalam suhu bilik, hanya perak yang mempunyai kekonduksian elektrik lebih tinggi dari pada tembaga, namun apabila dioksidakan tembaga adalah besi lemah. Tembaga memiliki ciri warna kemerahan, hal itu disebabkan struktur jalurnya memantulkan cahaya

merah dan jingga serta menyerap frekuensi-frekuensi lain dalam spektrum tampak. Tembaga sangat langka dan jarang diperoleh dalam bentuk murni.

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

Struktur kristal tembaga murni adalah *face centered cubic (FCC)* dan memiliki titik leleh 1084,62°C. Pada Tabel 2.7 diperlihatkan sifat fisis mekanik dan sifat panas dari tembaga murni.

Tabel 2.7. Sifat fisis, mekanik dan panas dari tembaga murni

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

Tembaga merupakan logam berwarna kuningan seperti emas kuning dan memiliki sifat keras bila tembaga tersebut tidak murni, tembaga mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi yaitu

sebesar  $59,6 \times 10^6$  S/m, oleh karena itu tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi atau kedua tertinggi diantara semua logam murni pada suhu kamar (Hammond, 2004).

Seng dengan nama kimia *Zinc* dilambangkan dengan Zn merupakan salah satu unsur logam berat, Zn mempunyai nomor atom 30 dan memiliki berat atom 65,39. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150°C. Seng (Zn) melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C. Seng dalam pemanasan tinggi akan menimbulkan endapan seperti pasir. Beberapa unsur kimia seng mirip dengan magnesium, hal ini dikarenakan ion kedua unsur ini berukuran hampir sama. Selain itu, keduanya juga memiliki keadaan oksidasi +2. Seng merupakan unsur yang melimpah dikerak bumi dan memiliki lima isotop stabil. Bijih seng yang paling banyak ditambang adalah seng sulfida.

Luigi Galvani dan Alessandro Volta berhasil meneliti sifat-sifat elektrokimia seng pada tahun 1800. Pelapisan seng pada baja untuk mencegah perkaratan merupakan aplikasi utama seng, aplikasi lainnya meliputi penggunaannya pada baterai. Terdapat berbagai jenis senyawa seng yang dapat ditemukan, seperti seng karbonat dan seng glukonat (suplemen makanan), seng klorida (pada deodoran), seng piriton (pada sampo anti ketombe), seng sulfida (pada cat berpendar) dan seng metil ataupun seng dietil di laboratorium organik. Seng adalah logam yang memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, pudar bila terkena uap udara dan terbakar bila terkena udara dengan api hijau terang. Seng dapat bereaksi dengan asam, basa dan senyawa non logam. Seng dialam tidak berada dalam keadaan bebas, tetapi dalam bentuk

terikat dengan unsur lain berupa mineral. Mineral yang mengandung seng di alam bebas antara lain kalaminit, franklinite, smitkosit, willenit dan zinkit (Widowati, dkk, 2008).

#### **h. Ikatan Kimia**

Sejak penemuan struktur elektronik atom-atom, ahli kimia dan fisika mampu menyelidiki bagaimana cara-cara atom dari jenis yang satu bergabung dengan jenis yang lain membentuk senyawa dengan ikatan kimia. Gagasan tentang pembentukan ikatan kimia dikemukakan oleh Lewis dan Langmuir (Amerika) serta Kossel (Jerman). Lewis mengemukakan teori ikatan kimia sebagai berikut:

1. elektron-elektron yang berada pada kulit terluar (elektron valensi) memegang peranan utama dalam pembentukan ikatan kimia;
2. pembentukan ikatan kimia mungkin terjadi dengan 2 cara yaitu melalui ikatan ion dan ikatan kovalen;
3. perpindahan elektron atau pemakaian bersama pasangan elektron berlangsung sedemikian rupa sehingga setiap atom yang berikatan mempunyai suatu konfigurasi elektron yang mantap, yaitu konfigurasi dengan 8 elektron valensi.

Ikatan ion adalah ikatan yang terjadi akibat perpindahan elektron dari satu atom ke atom lain. Ikatan ion terbentuk antara atom yang melepaskan elektron (logam) dengan atom yang menangkap elektron (bukan logam). Atom logam, setelah melepaskan elektron berubah menjadi ion positif. Sedangkan atom bukan logam, setelah menerima elektron berubah menjadi

ion negatif. Antara ion-ion yang berlawanan muatan ini terjadi tarik-menarik (gaya elektrostatis) yang disebut ikatan ion (ikatan elektrovalen). Ikatan ion merupakan ikatan yang relatif kuat, sedangkan ikatan kovalen adalah ikatan yang terjadi akibat pemakaian pasangan elektron secara bersama-sama oleh dua atom.

Ikatan kovalen terbentuk di antara dua atom yang sama-sama ingin menangkap elektron (sesama atom bukan logam). Dua atom dapat membentuk ikatan dengan sepasang, dua pasang, atau tiga pasang elektron bergantung pada jenis unsur yang berikatan. Ikatan kovalen yang hanya melibatkan sepasang elektron disebut ikatan tunggal (dilambangkan dengan satu garis), sedangkan ikatan kovalen yang melibatkan lebih dari sepasang elektron disebut ikatan rangkap. Ikatan yang melibatkan dua pasang elektron disebut ikatan rangkap dua (dilambangkan dengan dua garis), sedangkan ikatan yang melibatkan tiga pasang elektron disebut ikatan rangkap tiga (dilambangkan dengan tiga garis) (Brady, 1999).

#### **i. Karakteristik Air Laut**

Air laut mempunyai sifat asin, karena air laut mengandung garam Natrium klorida (NaCl). Natrium klorida merupakan garam yang paling berperan penting dalam salinitas laut dan dalam cairan ekstraselular dari banyak organisme multiselular. NaCl digunakan sebagai bumbu makanan dan pengawet. Natrium klorida berbentuk kristal atau bubuk berwarna putih. NaCl dapat larut dalam air tetapi tidak larut dalam alkohol. NaCl juga merupakan senyawa natrium yang berlimpah di alam (Kuncoro, 2004).

NaCl yang terdapat di laut merupakan salah satu elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik. NaCl yang larut dalam H<sub>2</sub>O dapat diuraikan menjadi ion Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup>, dengan adanya partikel muatan bebas itu, maka ada arus listrik. Persamaan kimia NaCl dapat dilihat pada persamaan 2.9.



unsur NaCl memiliki derajat ionisasi 1, atau mendekati 1 dan NaCl termasuk larutan elektrolit kuat serta dapat terionisasi sempurna dalam air (Keenan, 1984). Energi yang dihasilkan dari air laut memiliki banyak keunggulan diantaranya ramah lingkungan dan tidak membutuhkan banyak dana.

Kadar garam dalam air laut mempengaruhi sifat fisis air laut seperti densitas, kompresibilitas, titik beku dan temperatur. Beberapa sifat seperti viskositas, daya serap cahaya tidak terpengaruh signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut adalah daya hantar listrik dan tekanan osmosis. Zat garam-garaman utama yang terkandung dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya kurang dari 1% terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida (Nybakken, 1992).

Laut terbentuk sekitar 4,4 milyar tahun yang lalu, air laut awalnya bersifat sangat asam, mendidih dengan suhu sekitar 100°C karena panasnya bumi. Asamnya air laut terjadi karena atmosfer bumi dipenuhi oleh karbon dioksida. Keasaman air inilah yang menyebabkan tingginya pelapukan dan membuat air laut menjadi asin. Pada saat itu, gelombang tsunami sering terjadi karena asteroid menghantam bumi. Air laut adalah air yang didalamnya terlarut

berbagai zat padat dan gas. Dalam 1000 gram berisi  $\pm$  35 gram senyawa yang terlarut secara kolektif yang disebut garam. Diketahui bahwa 96,5% air laut berupa air murni dan 3,5% zat terlarut, banyaknya zat terlarut disebut salinitas. Ilmuwan dalam bidang biologi laut dan oceanografi pada umumnya lebih suka menyatakan salinitas dengan satuan per seribu (Nybakken, 1992).

Air laut terasa asin karena memiliki kadar garam rata-rata 3,5%, kandungan garam disetiap laut berbeda-beda. Laut yang paling tawar adalah ditimur Teluk Finlandia dan di utara Teluk Bothnia, keduanya merupakan bagian dari laut Baltik. Laut yang paling asin adalah laut merah, suhunya tinggi dan sirkulasi terbatas membuat penguapan tinggi serta sedikit air masuk dari sungai-sungai. Air laut memiliki kadar garam karena bumi dipenuhi dengan garam mineral yang terdapat didalam batu-batuan dan tanah, misalnya natrium, kalium, kalsium dan lain-lain (Millero, 2013).

Tabel 2.8. Komposisi air laut pada salinitas 35‰ (Riley and Skirrow, 1975)

No	Ion	Gram per kg air laut
1	Cl <sup>-</sup>	19,354
2	Na <sup>+</sup>	10,77
3	K <sup>+</sup>	0,399
4	Mg <sup>2+</sup>	1,290
5	Ca <sup>2+</sup>	0,4121
6	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	2,712
7	Br <sup>-</sup>	0,0673
8	F <sup>-</sup>	0,0013
9	B	0,0045
10	Sr <sup>2+</sup>	0,0079
11	IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> I <sup>-</sup>	6,0 x 10 <sup>-5</sup>

Tabel 2.9. Komposisi air laut pada massa jenis 1,0258 kg/liter (Riley and Skirrow, 1975)

No	Senyawa	Gram per liter air laut
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,003
2	CaCO <sub>3</sub>	0,1172
3	CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	1,7488
4	NaCl	29,6959
5	MgSO <sub>4</sub>	2,4787
6	MgCl <sub>2</sub>	3,3172
7	NaBr	0,5524
8	KCl	0,5339
	Total	38,44471

Air laut dengan kadar rata-rata seperti data pada Tabel 2.8 dan 2.9, mempunyai sifat kristalisasi berdasarkan perbedaan kepekatan seperti yang tercantum pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Tingkat kepekatan dan senyawa yang terendapkan dari air laut (Riley and Skirrow, 1975)

Tingkat kepekatan (°Be)	Mengkristal/Mengendap
3,00-16,00	Lumpur/Pasir/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /CaCO <sub>3</sub>
17,00-27,00	Gips (Kalsium Sulfat)
26,25-35,00	Natrium Klorida
27,00-35,00	Garam Magnesium
28,50-35,00	Natrium Bromida

Data menunjukkan bahwa ada senyawa yang tidak terlalu diperlukan tetapi jumlahnya cukup besar yaitu ion kalsium, magnesium dan sulfat. Ion besi juga terdapat dalam air laut dengan kadar yang relatif rendah. Berdasarkan perbedaan kemampuan pengendapannya, maka perlu diketahui kelarutan masing-masing ion tersebut didalam air. Data kelarutan ion dalam air berdasarkan kemampuan pengendapannya dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Kelarutan ion dalam air berdasarkan kemampuan pengendapannya (Riley and Skirrow, 1975)

No	Substansi	Hasil kali kelarutan (Ks)
1	CaCO <sub>3</sub>	4,8 x 10 <sup>-9</sup>
2	CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,0 x 10 <sup>-9</sup>
3	Ca(OH) <sub>2</sub>	5,5 x 10 <sup>-6</sup>
4	CaSO <sub>4</sub>	1,2 x 10 <sup>-6</sup>
5	MgCO <sub>3</sub>	1,0 x 10 <sup>-5</sup>
6	MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,0 x 10 <sup>-9</sup>
7	MgF <sub>2</sub>	6,5 x 10 <sup>-9</sup>
8	KIO <sub>3</sub>	5,0 x 10 <sup>-2</sup>

#### j. Besaran Listrik

Arus listrik dapat dihasilkan apabila terdapat beda potensial, salah satu cara untuk menghasilkan beda potensial adalah dengan baterai. Georg Simon Ohm (1787-1854) menentukan dengan eksperimen bahwa arus pada kawat logam sebanding dengan beda potensial  $V$  yang diberikan ke ujung kedua logam tersebut.

$$I \propto V \quad 2.10$$

(Giancoli, 1998).

Pada dunia kelistrikan, dikenal beberapa besaran listrik yang penting untuk diketahui, diantaranya adalah arus, tegangan dan daya. Arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik (*coulombs per second*) yang diukur dalam satuan ampere (A) (Fowler, 2008). Arus listrik dapat dirumuskan pada persamaan 2.11.

$$I = \frac{Q}{t} \quad 2.11$$

Keterangan:  $i$  = arus listrik (A);  $Q$  = muatan listrik (C);  $t$  = waktu (s)

Tegangan listrik adalah besarnya perbedaan energi potensial antara dua buah titik yang diukur dalam satuan volt (V). Tegangan dapat juga diartikan sebagai *joule per coulomb*. Misalkan sebuah baterai memiliki tegangan sebesar 12,6V, itu berarti setiap muatan 1 *coulomb* menyediakan energi 12,6 *Joule*. Jika sebuah lampu dihubungkan ke baterai tersebut maka setiap muatan 1 *coulomb* yang mengalir melalui lampu akan mengkonversi energi sebesar 12,6 *Joule* menjadi energi panas dan energi cahaya. Dengan demikian persamaan untuk menentukan besarnya tegangan adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.12.

$$V = \frac{W}{Q} \quad 2.12$$

Keterangan: V = tegangan (V); W = energi (J); Q = muatan (C)

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang mengalir setiap detik atau *Joule per second*, yang diukur dalam satuan watt (W). Daya listrik dirumuskan dengan persamaan 2.13 dan 2.14.

$$W = \frac{P}{t} \quad 2.13$$

$$P = \frac{W}{t} \quad 2.14$$

Keterangan: P = daya (W); W = energi (J); t = waktu (s)

Energi listrik dapat juga didefinisikan sebagai laju penggunaan daya listrik dikalikan dengan selama waktu tersebut (Thompson, 2006). Satuan SI untuk energi listrik adalah Joule (J), namun dalam kehidupan sehari-hari lebih dikenal dengan *kiloWatt hour* (kWh). Pada sebuah rangkaian listrik, hubungan antara arus dan tegangan dijelaskan dengan hukum Ohm dimana arus berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan hambatan.

Hambatan yang dimaksud adalah hambatan pada rangkaian yang dapat menghalangi aliran arus. Hambatan dinotasikan dengan huruf R dan diukur dalam satuan ohm ( $\Omega$ ). Hubungan antara arus, tegangan, dan hambatan ditunjukkan pada persamaan 2.15, 2.16, dan 2.17.

$$I = \frac{V}{R} \quad 2.15$$

$$R = \frac{V}{I} \quad 2.16$$

$$V = IR \quad 2.17$$

Keterangan: I = Arus (A); V = Tegangan (V); R = Hambatan ( $\Omega$ )

Selanjutnya hubungan arus, tegangan dan daya dijelaskan dengan persamaan 2.18 - 2.21.

$$P = VI \quad 2.18$$

$$P = I^2 R \quad 2.19$$

$$I = \frac{P}{V} \quad 2.20$$

$$V = \frac{P}{I} \quad 2.21$$

(Thompson, 2006).

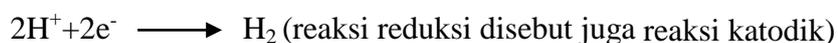
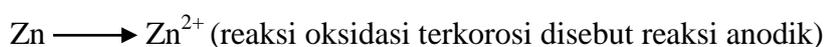
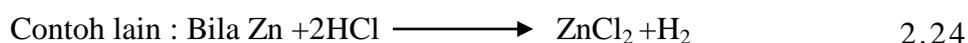
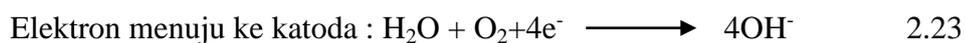
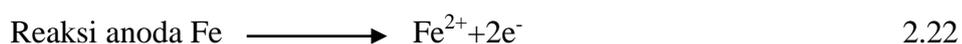
### **k. Korosi**

Korosi berasal dari bahasa latin "*corrodere*" yang artinya perusakan logam atau berkarat. Definisi korosi adalah proses degradasi/ deteorisasi/ perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Beberapa pakar berpendapat bahwa korosi hanya berlaku pada logam saja, tetapi ada juga yang mendefinisikan istilah korosi berlaku untuk material nonlogam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar

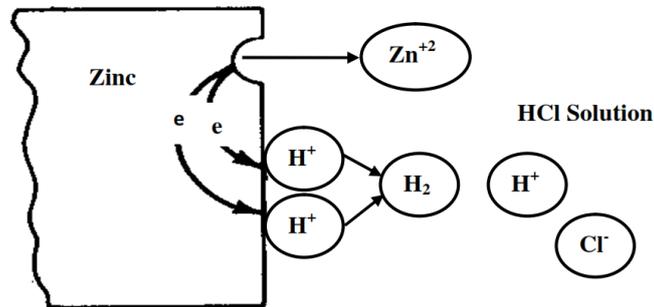
matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang *solid* oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*) Adapun definisi korosi adalah sebagai berikut.

- a) Perusakan material tanpa perusakan mekanis.
- b) Kebalikan dari metalurgi ekstraktif.
- c) Proses elektrokimia dalam mencapai kesetimbangan termodinamika suatu sistem. Jadi korosi adalah merupakan sistem termodinamika logam dengan lingkungan (air, udara, tanah) yang berusaha mencapai keseimbangan. Sistem ini dikategorikan setimbang bila logam telah membentuk oksida atau senyawa kimia lain yang lebih stabil (berenergi paling rendah) (Amanto, 1999).

Menurut proses elektrokimia, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat homogen. Akibatnya adanya perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang memiliki potensial lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang memiliki potensial lebih tinggi akan menjadi katoda. Sebagai contoh korosi pada besi dapat dilihat pada persamaan berikut.



Korosi yang terjadi akibat logam tidak homogen dapat dilihat pada Gambar 2.8, yaitu korosi seng dalam larutan asam klorida di udara bebas.



Gambar 2.8. Korosi karena logam tidak homogen (Fontana, 1987)

Secara umum korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu korosi merata (*uniform general attack*), korosi galvanik (*galvanic corrosion* or *ortwometal corrosion*), korosi celah (*Crevice Corrosion*), korosi sumur (*pitting corrosion*), korosi antar batas butir (*Intergranular Corrosion*), *selective leaching* or *parting*, korosi erosi (*erosioncorrosion*), dan korosi tegangan (*stresscorrosion*) (Fontana, 1987).

Laju korosi dapat dihitung dengan metode kehilangan berat (*wight loss*) dengan rumus:

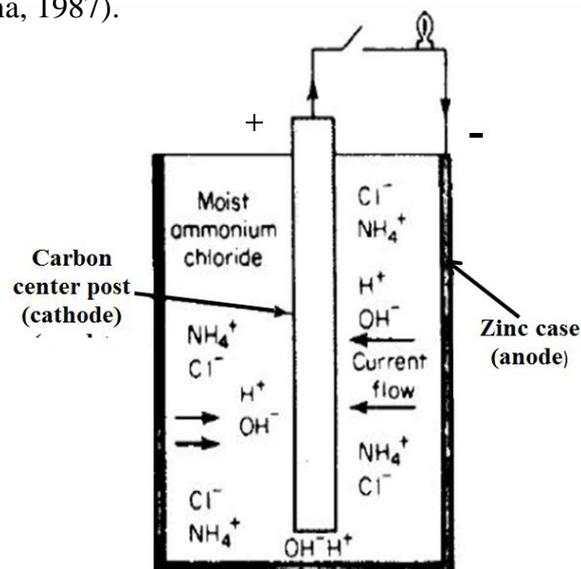
$$R = \frac{K \times W}{\rho \times A \times T} \quad 2.25$$

dengan: R = Laju korosi (mm/tahun);  
 K = Konstanta ( $8,76 \times 10^4$ );  
 W =  $W_0 - W_1$  = berat awal – berat akhir (gr);  
 $\rho$  = *Density specimen* (gr/cm<sup>3</sup>);  
 A = Luas permukaan (cm<sup>2</sup>);  
 T = Waktu (jam);

(Karim dan Yusuf, 2012).

Korosi yang dapat mempengaruhi ketahanan alat pada penelitian ini yaitu korosi galvanik, korosi galvanik merupakan korosi yang terjadi diantara dua

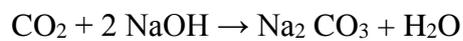
elektroda yang memiliki beda potensial, ketika keduanya dicelupkan ke dalam larutan korosif. Saat logam tersebut berkontak, dengan adanya perbedaan potensial akan menghasilkan aliran elektron. Elektron mengalir dari logam yang kurang mulia (anodik) menuju ke logam yang lebih mulia (katodik). Akibatnya logam yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif bereaksi dengan ion-ion negatif yang berada didalam elektrolit. Karena peristiwa tersebut permukaan anoda kehilangan muatan. Korosi akan menyerang logam yang ketahanan-korosinya lebih rendah dan serangan pada logam yang lebih tahan korosi akan lebih sedikit. Logam yang terserang korosi akan menjadi anoda dan logam yang lebih tahan terhadap serangan korosi akan menjadi katoda. Biasanya logam yang katodik akan terserang sedikit bahkan tidak terjadi korosi ketika kedua logam tersebut disambungkan. Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada kasus baterai, pada Gambar 2.9, elektroda karbon sebagai logam mulia atau yang tahan terhadap korosi (katoda) dan seng sebagai anoda yang terserang karat (Fontana, 1987).



Gambar 2.9. Korosi galvanik pada baterai (Fontana, 1987)

### 1. *Sodium Bicarbonate* (NaHCO<sub>3</sub>)

*Sodium bicarbonate* atau Natrium bikarbonat adalah senyawa kimia dengan rumus NaHCO<sub>3</sub>. Ini adalah garam yang terdiri dari ion natrium dan ion bikarbonat. Natrium bikarbonat adalah padatan putih yang kristal tapi sering muncul sebagai bedak halus. Memiliki sedikit asin, alkali rasa menyerupai cuci soda (natrium karbonat). NaHCO<sub>3</sub> dapat diperoleh dengan reaksi karbon dioksida dengan larutan dari natrium hidroksida. Reaksi awal menghasilkan natrium karbonat:



Selain itu lanjut karbon dioksida menghasilkan natrium bikarbonat, yang pada konsentrasi cukup tinggi akan mengendap larutan:



(Green, 2008).

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Agustus 2016 sampai November 2016.

#### **B. Alat dan Bahan**

Alat penunjang yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin gerinda dan gunting, digunakan untuk memotong akrilik, tembaga dan seng dalam pembuatan elektroda.
2. Tang, digunakan untuk membentuk bahan elektroda agar sesuai dengan desain yang diinginkan.
3. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume air laut.
4. Lux Meter, digunakan untuk mengukur iluminasi lampu LED.
5. Ampremeter, voltmeter, dan luxmeter digital, digunakan untuk mengukur arus dan tegangan dari alat dan intensitas cahaya pada lampu LED.
6. Kertas, Pulpen dan Spidol, digunakan untuk mencatat data pengamatan dan keperluan lainnya.
7. Lampu LED 1,2 watt, digunakan menjadi beban energi listrik dari alat.
8. Kabel penghubung, digunakan sebagai media penghubung elektroda.
9. Kamera, digunakan untuk mengambil foto atau video alat.

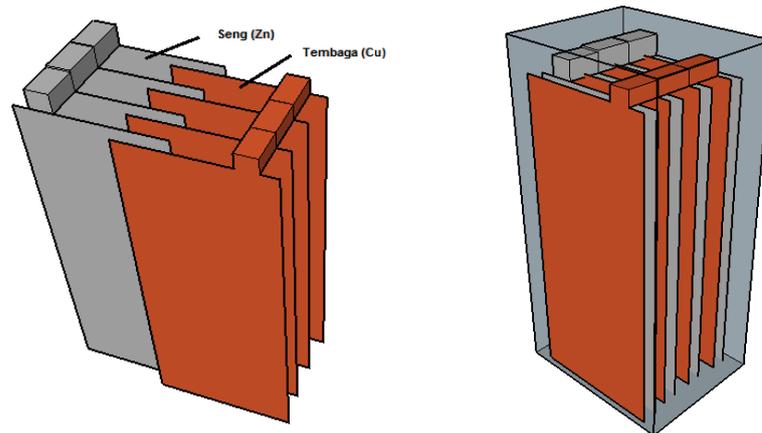
Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Akrilik, digunakan sebagai kerangka utama alat.
2. Tembaga (Cu) dan seng (Zn), digunakan sebagai elektroda.
3. Lem akrilik, digunakan sebagai perekat untuk membentuk kerangka alat.
4. Kotak penampung, pipa paralon, dan keran, digunakan sebagai penampung elektrolit.
5. Selang, digunakan sebagai saluran pembuangan.
6. Air laut, digunakan sebagai elektrolit.
7. *Sodium Bicarbonate* ( $\text{NaHCO}_3$ ), digunakan untuk penambah bahan elektrolit.

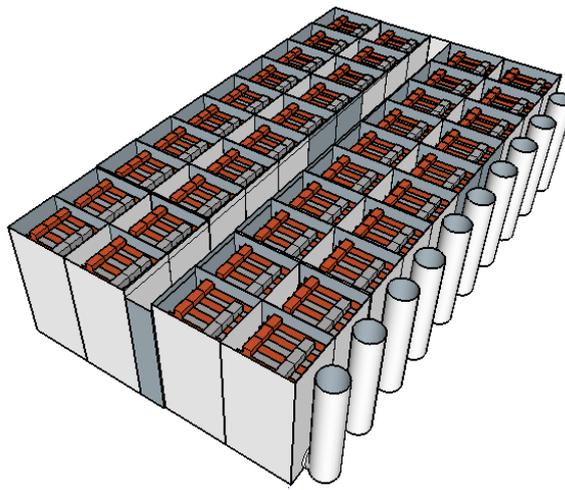
### **C. Prosedur Penelitian dan Desain Alat**

Penelitian dilakukan membuat desain inovasi sistem akumulator elektrolit air laut dengan penambahan  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 12,5% dan menggunakan empat pasang elektroda positif dan negatif yang terpasang paralel dalam 1 sel, yang terbuat dari elektroda tembaga (Cu) dan seng (Zn) dengan dimensi lebar 4 cm dan panjang 9 cm dengan sistem pengisian ulang elektrolit, hal ini bertujuan untuk menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan dan dapat dikembangkan sebagai energi listrik yang mudah didapatkan. Desain akan dibuat 40 sel dengan sistem tertutup, kemudian elektroda dimasukkan pada sel tersebut dengan volume air laut  $\pm 200$  ml. Sistem ini akan di desain sehingga dapat dilakukan pengisian ulang elektrolit air lautnya apabila energi listriknya sudah mulai berkurang. Setelah alat terbentuk, maka akan dilakukan pengambilan data karakteristik energi listrik yang dihasilkan oleh

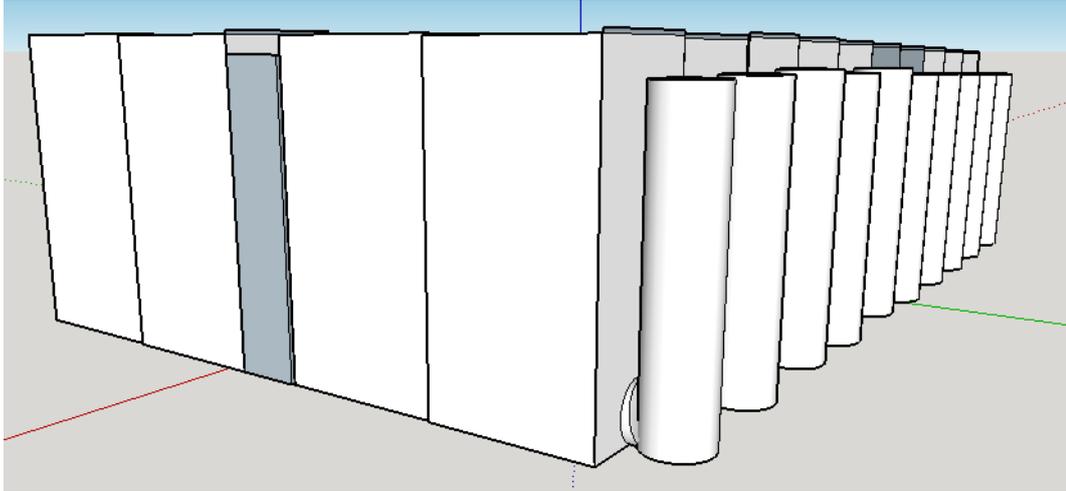
alat. Beban yang digunakan adalah rangkaian 6 LED dengan daya maksimum 1,2 watt yang menggunakan hambatan tertentu. Desain dari alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7.



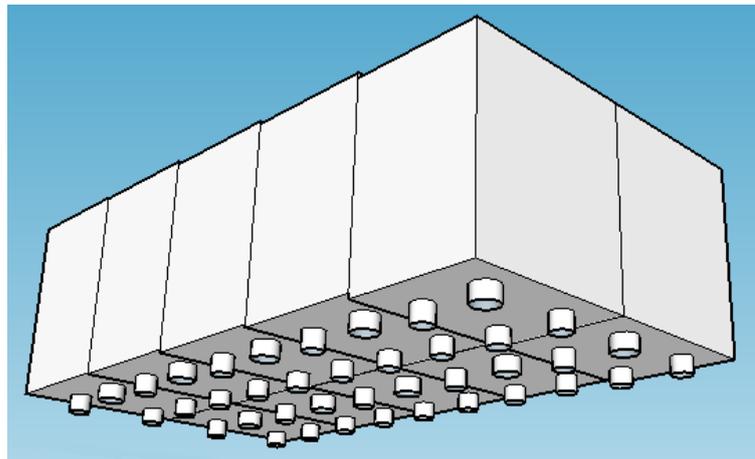
Gambar 3.1. Desain 1 sel



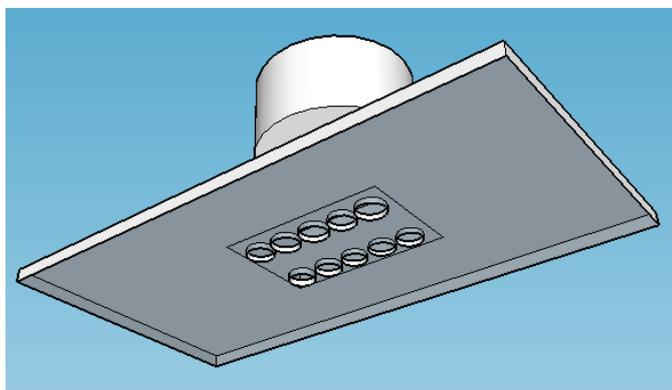
Gambar 3.2. Desain 40 sel



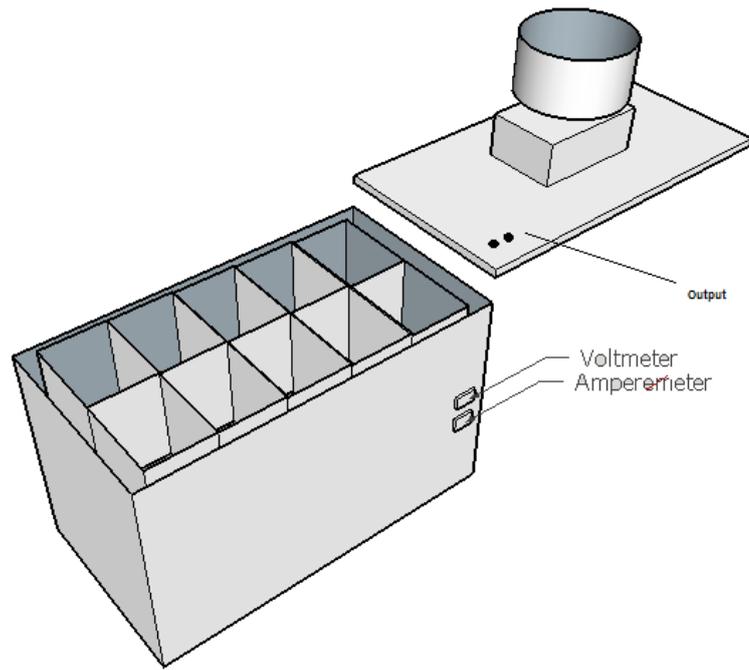
Gambar 3.3. Saluran Pembuangan



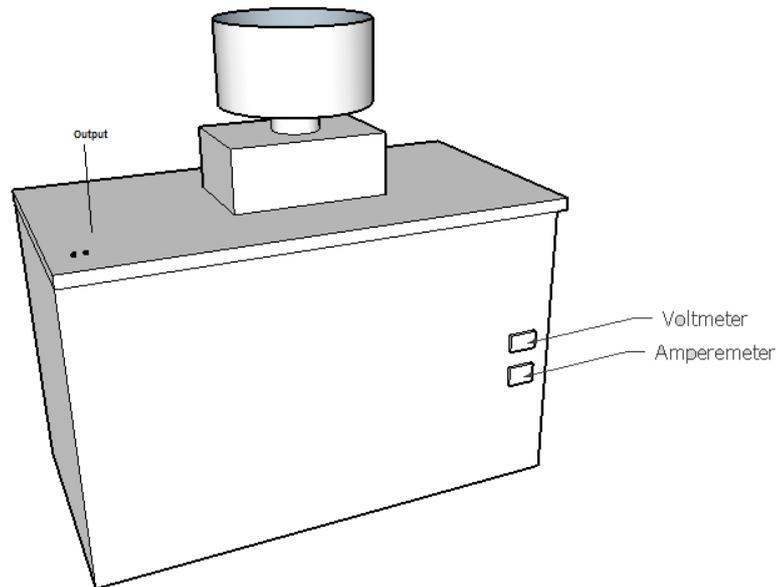
Gambar 3.4. Saluran Pengisian



Gambar 3.5. Tutup Akumulator



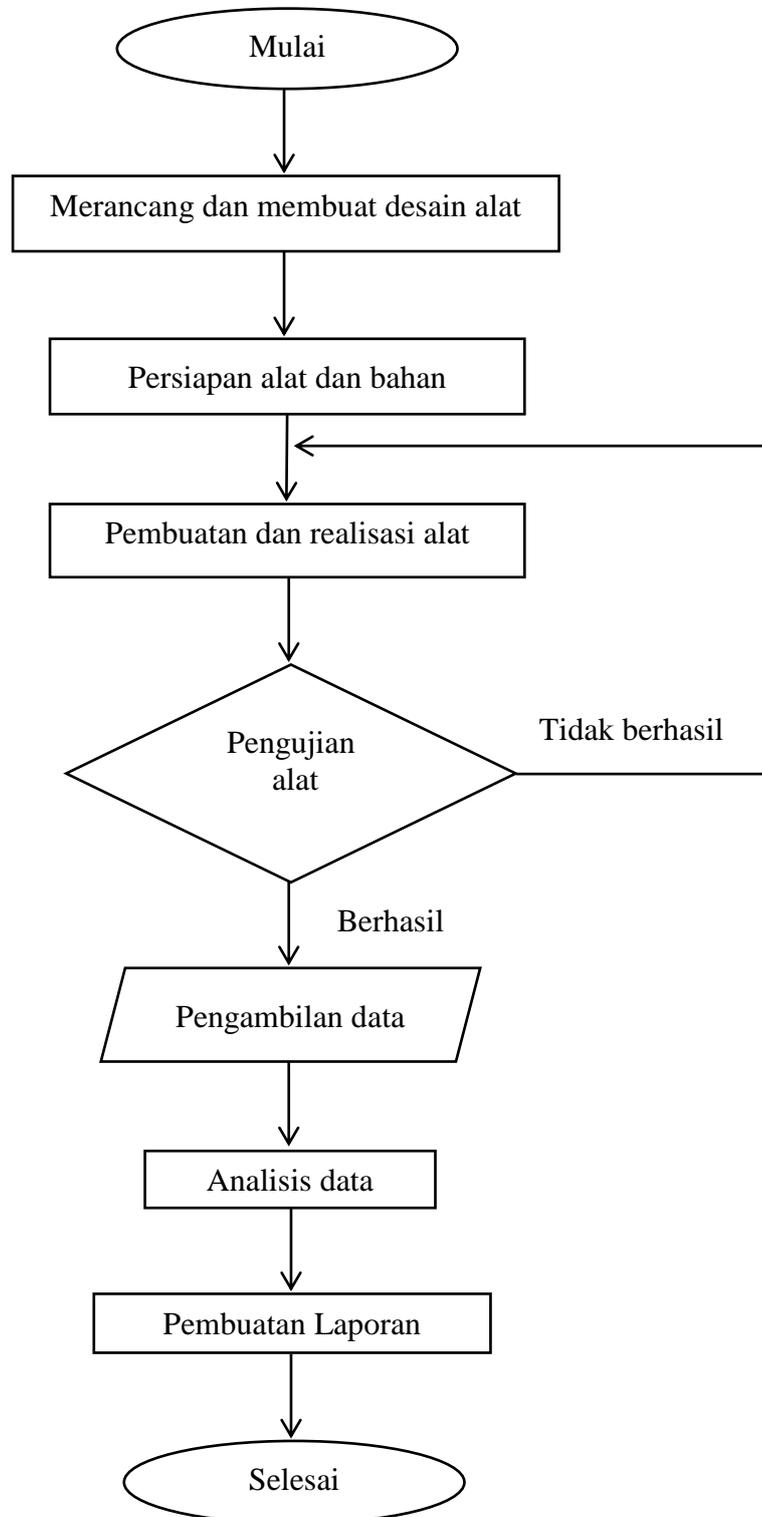
Gambar 3.6. Keseluruhan Akumulator I



Gambar 3.7. Keseluruhan Akumulator II

#### D. Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.8. Diagram alir penelitian

### E. Rancangan Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini, karakteristik alat yang akan diperoleh berupa tegangan, arus, daya, hambatan dalam alat, dan intensitas cahaya yang dihasilkan dari lampu LED. Energi listrik yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan multimeter digital dan intensitas cahaya dapat diketahui dengan menggunakan luxmeter digital. Data pengamatan pada penelitian ini akan diambil setiap 3 jam sekali dalam waktu 5 hari berturut-turut, dengan rangkaian 40 sel disusun secara seri dengan elektrolit air laut dan air laut yang ditambahkan dengan  $\text{NaHCO}_3$ . Rancangan data pengamatan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1, 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.1. Data pengukuran karakteristik energi listrik alat

No	Waktu (jam)	Tegangan Tanpa Beban (V)	Tegangan Dengan Beban (V)	Arus (A)	Illuminasi Cahaya (Lux)
0					
1					
2					
...					
...					
...					
8					
9					

Tabel 3.2. Data perhitungan karakteristik energi listrik alat

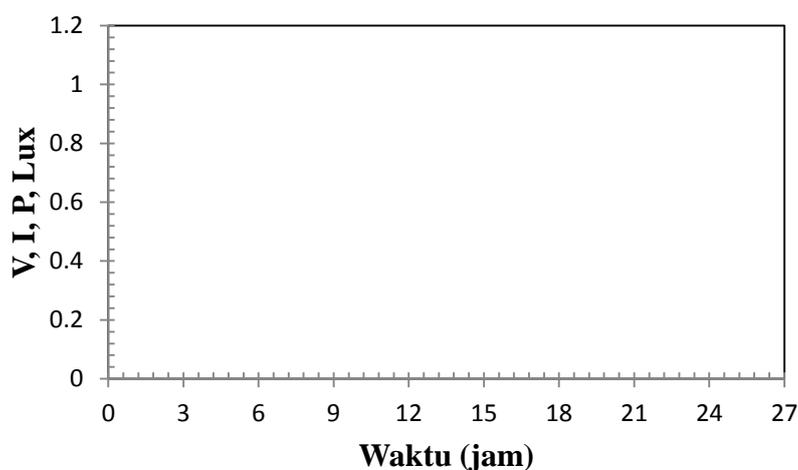
No	Waktu (jam)	Hambatan dalam ( $\Omega$ )	Daya (W)
0			
1			
2			
...			
...			
...			
8			
9			

Tabel 3.3. Data pengukuran kelajuan korosi

Jenis	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Waktu (hari)	W <sub>0</sub> (gr)	W <sub>1</sub> (gr)	W (gr)	Laju Korosi (mm/y)
Air Laut		1				
		2				
		3				
		4				
		5				
Air Laut + NaHCO <sub>3</sub>		1				
		2				
		3				
		4				
		5				

#### F. Rancangan Grafik Hasil Penelitian

Data hasil penelitian yang diperoleh akan dibuat grafik dan dianalisis bagaimana pengaruh waktu terhadap tegangan, arus, daya, dan intensitas cahaya pada akumulator yang dibuat. Data akan dianalisis dengan grafik yang akan diambil setiap 3 jam sekali dalam waktu 5 hari berturut-turut, dengan rangkaian 40 sel disusun secara seri dengan elektrolit air laut dan air laut yang ditambahkan dengan NaHCO<sub>3</sub>. Rancangan grafik pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Grafik pengukuran karakteristik energi listrik alat

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan realisasi hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Telah direalisasikan sebuah alat yang dapat menghasilkan daya listrik dari elektroda Cu-Zn dan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  dengan sistem pengisian dan pengosongan.
2. Tegangan, arus, daya, dan iluminasi yang dihasilkan alat dengan elektrolit air laut semakin lama digunakan akan semakin kecil dan hanya dapat menhidupkan LED 1,2 watt dalam 3 hari.
3. Tegangan, arus, daya, dan iluminasi yang dihasilkan alat dengan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  semakin lama digunakan akan semakin kecil dan masih dapat menhidupkan LED 1,2 watt hingga 5 hari.
4. Laju korosi dengan elektrolit air laut semakin lama digunakan akan semakin besar, Sedangkan dengan elektrolit air laut ditambahkan  $\text{NaHCO}_3$  tidak terjadi korosi.

## B. Saran

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

1. Desain *casing*, sistem pengisian dan pengosongan elektrolit harus diperbaiki dan dibuat lebih kecil namun tidak mengurangi bentuk sel.
2. Mengurangi kadar  $\text{NaHCO}_3$  agar dapat terlarut seluruhnya.
3. Menggunakan elektroda yang memiliki jarak potensial reduksi yang lebih jauh, sehingga tegangan yang dihasilkan lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H. & Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta. Bumi Aksara. Hal 61-89.
- Anderson, M.A., Alberto Cudero and Jose Palma. 2010. *Capasitive deionization (CDI) as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water*. *Electrochimica Acta*, No. 55, hal. 3845-3856.
- Bagotsky, V.S. 2006. *Fundamentals Of Electrochemistry*. Canada. Inc. All rights reserved. Hal. 29-30.
- Brady, James E. 1999. *Kimia Universitas Asas dan Struktur Jilid 1*. Diterjemahkan oleh Sukmariah Maun. Tangerang. Binarupa Aksara Publisher.
- Chang, Raymond. 2003. *General Chemistry: The essential Concepts*. Diterjemahkan oleh Suminar Setiadi Achmadi. Jakarta. Erlangga.
- Dogra, S. 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*. Diterjemahkan oleh Umar Mansyur. Jakarta. Universitas Indonesia. Hal. 20-35.
- Fontana, M. G. 1987. *Corrosion Engineering*. McGraw-Hill Book Co. Singapore.
- Fowler, Richard J. 2008. *Electricity Principles & Applications*. Penerbit McGraw-Hill, New York.
- Giancoli. 1998. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta. Erlangga. Hal. 61-68.
- Green, Don W. and Robert H. Perry. 2008. *Perry's Chemical Engineers Handbook 8<sup>th</sup> Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. USA.
- Hammond, C.R. 2004. *The Elements, in Handbook of Chemistry and Physics 81<sup>st</sup> edition*. CRC press.
- Hiskia, Achmad. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Kimia*. Bandung. PT Citra Aditya Bakti.
- Hudaya, Encep. 2016. Analisis Karakteristik Elektrik Air Laut Sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Skripsi*. Bandar Lampung. Universitas Lampung.

- Karim, Aziz & Yusuf A Zulkifly. 2012. Analisa Pengaruh Penambahan Inhibitor Kalsium Karbonat dan Tapioka Terhadap Tingkat Laju Korosi Pada Pelat Baja Tangki Ballast Air Laut. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*. Vol. 10, No. 2.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Materi Paparan Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Rapat Koordinasi Infrastruktur Ketenagalistrikan*. Jakarta. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kuncoro, Eko Budi. 2004. *Akuarium Laut*. Yogyakarta. Kanisius.
- Landis, E.H. 1909. Some of the Laws Concerning Voltaic Cells. *The Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania*. Vol. CLXVIII, No. 6, hal. 399-420.
- Marlina, Ena, Slamet Wahyudi dan Lilis. 2013. Produksi Brown's Gas Hasil Elektrolisis H<sub>2</sub>O dengan Katalis NaHCO<sub>3</sub>. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Brawijaya*. Vol. 4, No. 1, hal. 53-58.
- Milanino, R., K.D. Rainsford and G.P. Melo. 1989. *Copper and Zinc in Inflammation*. USA. Kluwer Academic Publishers.
- Millero, Frank J. 2013. *Fourth Edition Chemical Oceanography*. Taylor & Francis Group. CRC Press, Inc.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta. PT Gramedia Pustaka.
- Oren, Y. 2008. *Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment past, present and future (a review)*, *Desalination*. No. 228, hal. 10-29.
- Riley, J.P. and George Skirrow. 1975. *Chemical Oceanography, v. 4. 2nd ed.* London, San Francisco. Academic Press.
- Sadad, Rif'an T.A. 2012. Implementasi Buah Mangga Sebagai Energi. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*. ISSN : 1979-911X.
- Silberberg, Martin S. 2000. *Chemistry, The Molecular Nature Of Matter And Change*. New York. McGraw Hill Education.
- Thompson, Lawrence (Larry) M. 2006. *Basic Electricity and Electronics For Control Fundamentals and Applications*. Instrumentation System and Automation Societ, United States of America. Pp 2-10.

- Wang, Jung-Chang and Li-Wei Ye. 2014. Thermoelectric Performance of Seawater and Al<sub>3</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids using Battery Facility. *Advance Shipping and Ocean Engineering NTOU Taiwan*. Vol. 3 Iss. 3, PP. 35-40.
- Widowati, W., Astiana Sastiono & Raymond Jusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta. Penerbit Andi.
- Zoski, Cynthia G. 2007. *Handbook Of Electrochemistry*. Amsterdam. Elsevier B.V. all rights reserved. Hal. 20-21.