



Tesis TF142520

KINERJA BATERAI ELEKTROLIT AIR TAWAR DAN AIR LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI APLIKATIF

MASRUDIYAH

NRP.2414 202 008

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



Thesis TF142520

PERFORMANCE OF FRESHWATER AND SEAWATER ACTIVATED BATTERY AS ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES

MASRUFAYAH

NRP.2414 202 008

Supervisor

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T

MASTER PROGRAM

RENEWABLE ENERGY ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M. T.)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Masrufaiyah

NRP. 2414202008

Tanggal Ujian : 20 Juli 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui Oleh :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP: 19761223 200501 1 001

..... (Pembimbing)

2. Dr.rer.nat.Ir.Aulia M.T.N Msc
NIP: 19671117 199702 1 001

..... (Ketua Penguji)

3. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, ST, MT
NIP: 19740903 199802 2 001

..... (Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M. Sc., Ph. D.
NIP. 19601202 198701 1 001

KINERJA BATERAI ELEKTROLIT AIR TAWAR DAN LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI APLIKATIF

Nama Mahasiswa : Masrufaiyah
NRP : 2414 202 008
Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

ABSTRAK

Material anode adalah salah satu unsur penting yang dapat meningkatkan tegangan dan kapasitas arus pada baterai air laut. Aluminium dan paduan seng/aluminium adalah material yang digunakan sebagai anode pada baterai air laut. Polarisasi potensiodinamik, *galvanostatic discharge* dan *electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) dari aluminium dianalisis dan dibandingkan dengan paduan seng/aluminium. Pengukuran tegangan, arus dan temperatur dilakukan pada salinitas elektrolit, laju elektrolit, jarak antar elektroda yang berbeda. Material katoda yang digunakan adalah tembaga. Hasil polarisasi potensiodinamik menunjukkan bahwa potensial korosi lempeng paduan seng-aluminium jauh lebih negatif jika dibandingkan lempeng aluminium dengan nilai potensial korosi sebesar $-944,6\text{ mV}$ dan kerapatan arus korosi sebesar $16,8\text{ }\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, tetapi resistansi polarisasi paduan seng/aluminium jauh lebih kecil jika dibanding aluminium yaitu paduan seng/aluminium $535,4\text{ }\Omega$ dan aluminium $23,5\text{ k}\Omega$.

Performa sel terbaik selama tiga jam discharge ditunjukkan oleh sel Zn/Al-Cu pada kombinasi keadaan salinitas elektrolit 5%, laju elektrolit 0,5 liter/jam dan jarak antar elektroda 2 cm dengan tegangan rata-rata sebesar 73,6 mV dan arus rata-rata $717,8\text{ }\mu\text{A}$. Hasil uji EIS menunjukkan bahwa proses elektrokimia *interface* paduan Zn/Al dan Al sama-sama ditentukan oleh reaksi aktivasi terkontrol.

Kata kunci: aluminium, paduan seng/aluminium, tembaga, baterai air laut.

PERFORMANCE OF FRESHWATER AND SEAWATER ACTIVATED BATTERY AS ALTERNATIVE ENERGY RESOURCES

By : Masrufaiyah
Student Identity Number : 2414 202 008
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

ABSTRACT

One of the key materials applied in seawater activated battery was the metal anode which increases the cell voltage and current capacity. Zinc/alluminium alloy and alluminium were the developed anode material for seawater activated batteries. The potentiodynamic polarization, galvanostatic discharge and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of alluminium were studied and compared with zinc/alluminium alloy. Voltage, current and temperature measurement were investigated at different electrolyte salinity, space between electrodes and electrolyte rate. Copper was cathode material used in cell. potentiodynamic polarization result shows that zinc/alluminium alloy obtains the more negative corrotion potentials of -944,630 mV with electric current density $16,7800 \mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ than alluminium. However, polarization resistance of zinc/alluminium alloy obtains lower than alluminium which were $535,390 \Omega$ for zinc/alluminium alloy and $23,4620 \text{k}\Omega$ for alluminium. The best discharge perfomance was shown by Zn/Al-Cu cell in 5% electrolyte salinity, 2 cm space between electrodes and 0,5 litre/hour electrolyte rate of average volatges 73,56 mV and average current $717,79 \mu\text{A}$. EIS study reveal that interfacial electrochrmical process both of zinc/alluminium and alluminium was determined by activation controlled reaction.

Key word : alluminium, zinc/alluminium alloy, copper, seawater activated battery

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Kajian Pustaka.....	5
2.2 Prinsip Kerja Baterai	6
2.3 Parameter Baterai	9
2.3.5 Pelepasan Muatan Sendiri Baterai (Self Discharge).....	15
2.4 Elektrolit.....	15
BAB 3 METODA PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur.....	18
3.3 Alat dan Bahan	18
3.4 Rancangan Penelitian	19
3.4.1 Parameter Penelitian	20
3.4.2 Variabel Penelitian.....	20
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Komposisi Penyusun Elektroda.....	21
4.2 Polarisasi Potensiodinamik Elektroda	26

4.3 Reaksi Elektrokimia Sel	27
4.4 Karakteristik <i>Discharge</i> Sel	30
4.4.1 Pengaruh Jarak.....	32
4.4.2 Pengaruh Laju Elektrolit.....	36
4.5.3 Pengaruh Salinitas	40
4.5 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda.....	47
BAB 5 KESIMPULAN	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel elektrokimia dan reaksi didalam didalam sel, S(N) dan S(P) masing- masing adalah komponen negative dan positif elektroda	7
Gambar 2.2 Polarisasi sel sebagai fungsi arus operasi	9
Gambar 2.3 Karakteristik kurva discharge baterai	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	17
Gambar 4.1 Hasil uji EDS pada elektroda. (a) Aluminium, (b) Tembaga dan (c) Paduan seng-aluminium	24
Gambar 4.2 Kurva polarisasi potensiodinamik pada lempeng aluminium dan lempeng paduan seng-aluminium didalam elektrolit dengan salinitas 3%	26
Gambar 4.3 Aliran elektron didalam sel baterai air laut	28
Gambar 4.4 Elektroda sebelum dan setelah discharge : (a) Aluminium sebelum discharge, (b) Aluminium setelah discharge dengan endapan Al(OH) ₃ pada permukaan, (c) Tembaga sebelum discharge (d) Tembaga setelah discharge dengan endapan Cu ₂ O dan CuO yang menempel pada permukaan, (e) Paduan seng-aluminium sebelum discharge dan (f) Paduan Seng-aluminium setelah discharge	29
Gambar 4.5 Kurva tegangan open circuit dan tegangan close circuit sel Al-Cu selama discharge, salinitas elektrolit 3%, beban 1 ohm dan laju elektrolit 0 l/jam	31
Gambar 4.6 Kurva resistansi sel Al-Cu sebagai fungsi jarak anoda-katoda. Laju elektrolit 0 l/jam dan salinitas elektrolit 3%	33
Gambar 4.7 Kurva discharge tegangan-waktu pada anoda dan jarak antar elektroda yang berbeda, . Laju elektrolit 0 liter/jam. Salinitas elektrolit (1) 3%, (2) 4% dan (3) 5%	35

Gambar 4.8 Kurva tegangan rata-rata sel baterai air laut sebagai fungsi jarak antar elektroda pada sel dengan salinitas elektrolit 3% dan laju elektrolit 0 liter/jam	36
Gambar 4.9 Kurva discharge tegangan-waktu sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm	37
Gambar 4.10 Kurva discharge arus-waktu pada laju elektrolit sama 0,5 liter/jam, salinitas elektrolit dan jarak antar elektroda berbeda. (1) sel Al-Cu dan (2) sel Zn/Al-Cu	38
Gambar 4.11 Kurva arus rata-rata sel sebagai fungsi laju elektrolit pada salinitas 3% dan jarak antar elektroda 2 cm	39
Gambar 4.12 Kurva discharge arus- waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda : (1) 0,5 cm (2) 2 cm	41
Gambar 4.13 Persamaan linear arus sel pada laju elektrolit 0 liter/jam sebagai fungsi salinitas elektrolit	43
Gambar 4.14 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jaM	44
Gambar 4.15 Kurva discharge tegangan sel pengaruh jenis anoda, salinitas elektrolit, laju antar elektroda dan laju elektrolit	46
Gambar 4.16 Hasil uji EIS lempeng Al dan lempeng Zn/Al didalam larutan NaCl 3%. (a) Plot Nyquizl lempeng Al, (b) Equivalent circuit model lempeng Al (c) Plot Nyquiz lempeng Zn/Al dan (d) Equivalent circuit model lempeng Zn/Al	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Potensial Reduksi Standart pada 25 ⁰ C, Relative Terhadap Elektroda Normal Hidrogen	10
Tabel 2.2 Kisaran Konduktifitas Berbagai Elektrolit pada Temperature Ambien	16
Tabel 4.1 Hasil Uji Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer dari Lempeng Aluminium, Lempeng Paduan Seng/Aluminium dan Lempeng Tembaga	25
Tabel 4.2 Parameter Korosi yang Diperoleh dari Kurva Polarisasi Potensiodinamik	27
Tabel 4.3 Tegangan rata-rata sel Al-Cu yang diperoleh pada Gambar 4.5	31
Tabel 4.4 Tegangan Rata-Rata yang Diperoleh dari Gambar 4.7	35
Tabel 4.5 Nilai Arus Rata-Rata Sel pada Laju Elektrolit 0,5 Liter/Jam yang Diperoleh dari Gambar 4.10	39
Tabel 4.6 Nilai Arus Rata-Rata Sel Sebagai Fungsi Laju Elektrolit dengan Salinitas Elektrolit 3% dan Jarak Antar Elektroda 2 cm	39
Tabel 4.7 Nilai Konduktifitas Larutan NaCl	42
Tabel 4.8 Nilai Arus Rata-Rata yang Diperoleh dari Gambar 4.12	43
Tabel 4.9 Persamaan Tegangan Sel pada Elektrolit Diam didalam Sel	45

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
ΔG^0	Perubahan energi Gibbs	Joule
n	Molekul elektron yang ditransfer	-
F	Konstanta Faraday	96.487 Coulomb atau Joule/volt)
E^0	Gaya gerak listrik standard (volt)	-
$(\eta_{ct})_a$	Aktivasi polarisasi <i>charge transfer over voltage</i> pada anoda	-
$(\eta_{ct})_c$	Aktivasi polarisasi <i>charge transfer over voltage</i> pada kanoda	-
$(\eta_c)_a$	Konsentrasi polarisasi pada anoda	-
$(\eta_c)_c$	Konsentrasi polarisasi pada anoda	-
i	Arus operasi sel ketika ada beban	A
R_i	Resistansi internal sel	Ω
R	Konstanta gas	8.314 J/mol·K
T	Temperatur absolut	K
K	Tetapan kesetimbangan yang nilainya sama dengan perbandingan aktifitas spesi teroksidasi terhadap spesi tereduksi	
C_{Ah}	Kapasitas baterai	Ah
t	Waktu	detik
U	Tegangan	V
Y_0	Kapasitansi	$\Omega^{-1} \text{cm}^{-2} \text{s}^N$
ω_m	Frekuensi angular	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki laut yang luas. Selain menjadi sumber pangan, Laut Indonesia menyediakan sumber energi terbarukan yang melimpah ketika energi yang bersumber dari bahan bakar fosil semakin menipis. Sumber energi terbarukan dari laut adalah energi gelombang, energi yang timbul akibat perbedaan suhu antara permukaan air dan dasar laut, energi yang disebabkan oleh perbedaan tinggi permukaan air akibat pasang surut, energi arus laut dan energi yang timbul karena kandungan garamnya. kita memiliki sumber energi potensial yang sangat besar dan tidak ada habisnya dari laut.

Air laut dapat dikonversi secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia oleh baterai air laut. Air laut dapat digunakan sebagai elektrolit yang baik untuk baterai air karena mengandung kadar garam yang cukup tinggi yaitu sekitar 3,5 %. Unsur Natrium Klorida(NaCl) adalah yang paling tinggi terkadung dalam air laut yaitu sekitar 81% dari kadar garamnya. NaCl sebagai ion bebas mampu menghantarkan arus listrik dengan baik. Prinsip kerja baterai air laut sama seperti baterai konvensional, Baterai air laut bekerja berdasarkan pada prinsip kerja sel Galvani. Sel Galvani adalah sel yang menghasilkan arus listrik melalui reaksi elektrokimia. Sel Galvani tersusun atas anoda, katoda dan elektrolit. Reaksi elektrokimia terjadi karena terdapat beda potensial antar elektroda dan reaksi kimia terjadi secara spontan. Pada katoda terjadi reaksi reduksi, sedangkan pada anoda terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan elektron. Arus listrik mengalir dari katoda menuju anoda (Riyanto,2013).

Baterai air laut sebagai sumber energi utama untuk aplikasi bawah laut kususnya untuk gaya dorong (*propulsion*) telah ada sejak tahun 1950-an. Hasvolddkk melaporkan aplikasi baterai air laut pada sumur laut untuk sistem kontrol autonom pada tahun 1997(Hasvold et al., 1997). Sedangkan pada tahun 2000, baterai air laut 600/1200 telah dibuat oleh Kongsberg Simrad di Norway dan pertama kali diaplikasikan di dasar samudera pasifik barat laut dengan kedalaman

5577 m. Baterai tersebut memiliki tegangan keluaran mendekati 1,6 volt dan rapat daya sebesar 318 Wh/kg(Shinohara, Araki, Kanazawa, & Suyehiro, 2006). Rapat daya baterai air laut tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan rapat daya baterai litium yang nilainya 585 Wh/kg. Tetapi jika baterai litium dipasang di laut dengan kedalaman 5577 m, kerapatan energi baterai tersebut akan lebih kecil karena pengaruh tekanan(Shinohara et al., 2006). Produk baterai air laut lainnya adalah *Ultralife Sea Water Activated Batteries* yang di produksi oleh Ultralife Batteries, Inc pada tahun 2005. Baterai tersebut memiliki kerapatan energi mencapai 165 Wh/kg dan dapat diaplikasikan pada peralatan kelautan misalnya *sonobuoys, underwater defense systems, air-sea rescue equipment, airborne surveillance drones and meteorological radiosondes*.

Baterai air laut memiliki keunggulan yang menarik sebagai sumber energi listrik yaitu mudah dioperasikan, biaya pembuatannya tidak mahal, portable, relatif tidak bergantung pada kondisi eksternal, memiliki waktu hidup lama selama air laut masih tersedia dan operasi baterai relatif tidak terpengaruh pada kedalaman (Wagner, 1971). Namun, pada baterai air laut terjadi reaksi *self discharge*, reaksi tersebut menghasilkan endapan dan sekumpulan gelembung gas hidrogen pada permukaan anoda. Endapan dan gas hidrogen akan menghambat reaksi oksidasi pada anoda sehingga tegangan keluaran menjadi turun. Laju reaksi *self discharge* tergantung dari jenis bahan elektroda. Elektroda yang dipakai pada baterai air laut saat ini kebanyakan adalah magnesium dan perak. Meskipun magnesium adalah logam yang cocok sebagai anoda karena memiliki nilai potensial standart yang kecil yaitu -3,27 volt (*Standard Hydrogen Electrode*) dan perak sebagai katoda karena memiliki konduktifitas listrik yang besar yaitu $6,8 \times 10^7$ ohm \cdot m. Tetapi mahalnya harga magnesium dan perak membatasi pemanfaatannya. Berbeda dengan baterai konvensional pada umumnya yaitu baterai dipenuhi oleh elektrolitnya. Elektrolit baterai air laut dapat dialirkan melewati elektrodasecara kontinyu. Normalnya tegangan keluaran sel baterai meningkat dengan meningkatnya laju aliran elektrolit, tetapi kerja hidrodinamik juga meningkat dengan meningkatnya laju aliran, sehingga terdapat kecepatan aliran optimal untuk mencapai nilai tegangan maksimal(Nai-guang Wang et al., 2014). Selain jenis elektroda dan laju aliran elektrolit yang melewati baterai,

kinerja baterai air laut juga dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu salinitas elektrolit, jarak antara anoda dan katoda dan luas elektroda yang bereaksi dengan elektrolit.

Dengan alasan tersebut, diperlukan kajian khusus dan analisis yang lebih terinci untuk mengetahui kinerja baterai air laut. Pada penelitian ini akan digunakan elektroda aluminium, tembaga dan paduan seng/aluminium untuk mengantikan magnesium dan perak. Jika dibandingkan dengan Magnesium, Aluminium memiliki laju *self discharge* lebih lambat (Shen & Tseung, 1994), harga yang lebih murah dan memiliki kapasitas yang lebih besar dibanding magnesium(Linden & Reddy, 2002). Tembaga dapat digunakan sebagai katoda untuk mengantikan perak karena tembaga lebih murah, memiliki sifat konduktifitas termal kedua tertinggi setelah perak yaitu 401 Watt/m.K dan memiliki konduktifitas listrik yang baik yaitu $6,0 \times 10^7$ ohm·m. Penggunaan paduan seng sebagai katoda diharapkan dapat mengurangi laju *self discharge* baterai air laut.

Penelitian akan dilakukan dengan menggunakan empat variasi parameter yang mempengaruhi kinerja baterai air laut yaitu jenis elektroda, salinitas elektrolit, laju elektrolit dan jarak antara elektroda. Dari data yang diperoleh berupa tegangan keluaran, arus *discharged* dan temperatur akan didapatkan keadaan optimum baterai air laut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi dalam pengembangan baterai air laut dan manfaat bagi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan energi listrik.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, pemasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana kinerja baterai air laut dan air tawar?

1.3 Batasan Masalah

1. Elektroda yang digunakan adalah Aluminium, tembaga dan paduan seng/aluminium.
2. Air laut yang digunakan adalah elektrolit sintetis dengan melarutkan NaCl ke dalam aquades.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan konfigurasi parameter yang memberikan kinerja terbaik dari baterai air laut dan air tawar.

Manfaat yang bisa didapatkan adalah diperoleh suatu informasi mengenai karakteristik kinerja baterai air laut dan air tawaryang menggunakan elektroda yang mudah didapatkan yaitu aluminium, tembaga dan paduan seng/aluminium sebagai sumber energi aplikatif untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

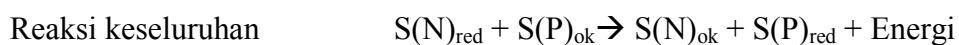
Alumunium memiliki potensial standart -2,31 Volt(Vs. SHE), kapasitas 2,980 Ah/g, kerapatan 2,70 g/cm³, energi spesifik teoritis 8,1 kWh/kg, tegangan operasi praktis 1,1 volt – 1,4 volt(Linden & Reddy, 2002). Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa aluminium dapat menggantikan magnesium yang sering dipakai sebagai anoda pada baterai air laut. Magnesium memiliki potensial standart -2,37 volt (*Standard Hydrogen Electrode*), kapasitas 2,205 Ah/g, kerapatan 1,74 g/cm³, energi spesifik teoritis 6,8 kWh/kg dan tegangan operasi praktis 1,2 volt – 1,4 volt(Linden & Reddy, 2002). Penggunaan aluminium sebagai anoda yang memiliki performa bagus ditunjukkan oleh penelitian *development of sea water battery for deep application* yang menggunakan elektroda paduan Alumunium 6061 dan stainless-steel 316dengan luas yang sama 30 cm x 15 cm terpisah sejauh 4 cm dan terhubung dengan resistor 50Ω elektrolit air laut. Tegangan yang dihasilkan baterai tersebut sebesar 0,06 volt dan mengalami peningkatan sampai hari ke 15 sejak baterai beroperasi(Wilcock & Kauffman, 1997). Penelitian lain yaitu *cheaper electrodes having higher efficiency using salt water and salt vinegar electrolytes*yang menggunakan elektroda aluminium dan tembaga, elektrolit air laut, baterai menunjukkan tegangan keluaran sebesar 0,61 volt (Ramakanth, 2012).

Beberapa contoh tipe baterai yang menggunakan air laut sebagai elektrolit adalah *Seawater activated battery*, *Dissolved oxygen seawater battery*, *Air battery* dan *Hydrogen peroxide semi-fuel cell*. Pada *seawater activated battery* terjadi reaksi *self discharge* yang mengurangi efisiensi anoda dan kapasitas anoda karena logam tidak dapat seluruhnya dipakai untuk menghasilkan listrik, selain itu panas dari hasil reaksi *selfdischarge* berperan pada aktifasi sistem baterai yang menurunkan kinerja baterai. Material hidroksida yang dihasilkan dari reaksi *self discharge* menumpuk pada permukaan elektroda dan menghalangi reaksi redok elektrokimia, sehingga menurunkan kinerja baterai.Beberapa upaya untuk

meningkatkan kinerja baterai salah satunya yaitu dengan menggunakan paduan logam sebagai elektroda (Nai-guang Wang et al., 2014). Paduan aluminium memiliki laju *discharge* lebih lambat jika dibanding dengan paduan magnesium, hal tersebut ditunjukkan dengan nilai K_{sp} Nilai K_{sp} $Al(OH)_3$ yaitu $1,3 \cdot 10^{-33}$, sedangkan $Mg(OH)_3$ yaitu $1,8 \cdot 10^{-11}$ (Shen dan Tseung, 1994). Pada penelitian yang berjudul *Performance evaluation of Mg-AgCl batteries for Underwater Propulsion* menjelaskan bahwa kinerja baterai dipengaruhi oleh faktor salinitas elektrolit, aliran elektrolit, temperatur, luas permukaan elektroda. Baterai air laut tersebut tersusun atas 10 sel seri dengan paduan magnesium sebagai anoda dan $AgCl$ sebagai katoda. Pada kondisi optimum baterai dapat memiliki tegangan keluaran rata-rata 11,8 V. Faktor yang paling berpengaruh pada kinerja baterai air laut adalah laju aliran elektrolit dan salinitas elektrolit (Rao, 2001).

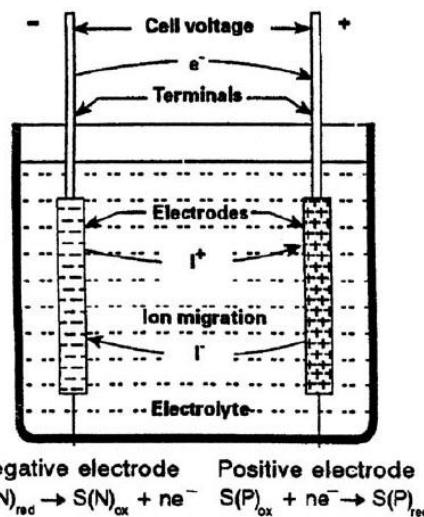
2.2 Prinsip Kerja Baterai

Baterai adalah alat yang dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam material aktifnya menjadi energi listrik secara langsung melalui reaksi redok elektrokimia(Linden & Reddy, 2002). Sel adalah elemen dasar elektrokimia yang digunakan untuk menyimpan energi.Komponen utama sel baterai yaitu elektroda, elektrolit, terminal, separator dan pembungkus.Elektroda baterai ada dua yaitu anoda dan katoda, anoda adalah elektroda yang bersifat negatif dan katoda adalah elektroda yang bersifat positif. Pada anoda dan katoda terdapat beda potensial, jika kedua elektroda dihubungkan melalui sebuah beban, arus akan mengalir dari katoda ke anoda. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan pada katoda terjadi reaksi reduksi.



Elektrolit adalah zat yang terdapat didalam baterai. Material aktif yang terdapat pada anoda dan katoda akan bereaksi dengan zat ini secara kimia, dari reaksi tersebut akan dihasilkan energi listrik. Baterai air laut menggunakan air laut sebagai elektrolitnya.Terminal adalah tempat kutub positif dan kutub negatif yang

terletak pada pembungkus baterai. Seluruh komponen baterai dan elektrolit ditempatkan pada pembungkus.



Gambar 2.1 Sel elektrokimia dan reaksi didalam didalam sel, S(N) dan S(P) masing- masing adalah komponen negatif dan positif elektroda(Kiehne, 2003)

Energi listrik maksimum yang dapat dihantarkan oleh zat kimia menuju elektroda didalam sel bergantung pada perubahan energi bebas (ΔG) sepasang zat elektrokimia.

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \quad (2.1)$$

Dengan

ΔG^0 : perubahan energi bebas Gibbs (Joule)

n : mol elektron yang ditransfer

F : Konstanta Faraday (96.487 Coulomb atau Joule/volt)

E^0 : Gaya gerak listrik standart

Selama *discharge*, semua energi ini dapat diubah menjadi energi listrik. Tetapi terjadi *losses* yang disebabkan polarisasi ketika arus beban melewati elektroda yang menyertai reaksi elektrokimia. *losses* tersebut meliputi :

1. Aktifasi polarisasi yang mendorong reaksi elektrokimia pada permukaan elektroda.

- Konsentrasi polarisasi yang timbul dari perbedaan konsentrasi reaktan dan produk yang ada pada permukaan elektroda dan didalam padatan sebagai hasil perpindahan massa.

Efek polarisasi ini menggunakan bagian dari energi yang dilepaskan sebagai panas buangan dan dengan demikian tidak semua energi teoritis yang tersimpan dalam elektroda sepenuhnya dikonversi menjadi energi listrik.

Adafaktor pentinglain yangsangatmempengaruhikinerja atau tingkat kemampuan sel yaitu impedansi internal. Impedansi internal menyebabkan drop tegangan selama operasi. Impedansi internal juga menggunakan sebagian energi sebagai panas buangan. *Drop* tegangan yang disebabkan impedansi internal disebut sebagai polarisasi ohmik atau drop IR dan sebanding dengan arus yang didapatkan dari sistem. Impedansi internal total sel adalah jumlah dari resistansi ionik elektrolit, resistansi elektronik masa aktif, pengumpul arus dan tab listrik kedua elektroda dan resistansi sambungan masa aktif dan pengumpul arus. Resistansi-resistansi tersebut mengikuti hukum Ohm, antara arus dan drop tegangan memiliki hubungan linear.

Tegangan sel baterai(E) yang terhubung dengan beban eksternal R dapat digambarkan dengan rumus.

$$E = E_0 - [(\eta_{ct})_a + (\eta_c)_a] - [(\eta_{ct})_c + (\eta_c)_c] - iR_i = iR \quad (2.2)$$

Dengan

E_0 : Gaya gerak listrik atau tegangan *open-circuit* sel

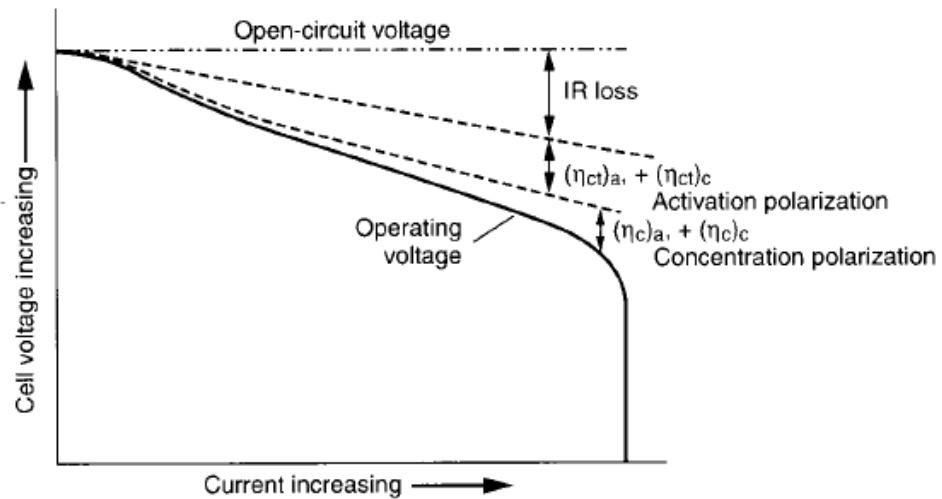
$(\eta_{ct})_a, (\eta_{ct})_c$: Aktifasi polarisasi *charge-transfer overvoltage* pada anoda dan katoda

$(\eta_c)_a + (\eta_c)_c$: Konsentrasi polarisasi pada anoda dan katoda

i : Arus operasi sel ketika ada beban

R_i : Resistansi internal sel

Persamaan (2.2) menunjukkan bahwa tegangan yang dikirim oleh sel berkurang karena polarisasi dan drop IR internal. Pada arus operasi yang sangat rendah dengan polarisasi dan drop IR kecil, sel dapat beroperasi mendekati tegangan *open-circuit* dan mengantarkan hampir semua energi teoritisnya. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara polarisasi sel dan arus *discharge*.



Gambar 2.2 Polarisasi sel sebagai fungsi arus operasi(Linden & Reddy, 2002)

2.3 Parameter Baterai

Karakteristik *discharge* baterai bergantung pada beberapa parameter. Parameter-parameter ini harus ditentukan untuk membandingkan baterai. Beberapa parameter ini antara lain :

- Tegangan keluaran baterai
- Kapasitas baterai
- Muatan energi baterai
- Energi spesifik dan kerapatan energi
- Resistansi internal
- Pelepasan muatan sendiri baterai (*Self Discharge*)

2.3.1 Tegangan Keluaran Baterai

Baterai mengalirkan arus listrik karena terdapat beda potensial antara anoda dan katoda. Beda potensial ini dapat disebut sebagai tegangan baterai atau tegangan sel. Potensial standart sebuah sel ditentukan oleh tipe material aktif yang terdapat didalam sel. Potensial standart sel dapat diperoleh dari data energi bebas seperti pada persamaan (2.1) atau secara eksperimen.

Tabel 2.1 Potensial Reduksi Standart pada 25°C, Relative Terhadap Elektroda Normal Hidrogen

Reaksi Elektroda	$E^0(V)$
$Mg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Mg$	-2,38
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	-1,66
$Zn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Zn$	-0,76
$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe$	-0,44
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni$	-0,23
$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	-0,13
$H^+ + e \rightleftharpoons \frac{1}{2}H_2$	0,00
$HgO + H_2O + 2e \rightleftharpoons Hg + 2OH^-$	0,10
$CuCl + e \rightleftharpoons Cu + Cl^-$	0,14
$AgCl + e \rightleftharpoons Ag + Cl^-$	0,22
$Cu^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cu$	0,34
$Ag_2O + H_2O + 2e \rightleftharpoons 2Ag + 2OH^-$	0,35
$Cu^+ + e \rightleftharpoons Cu$	0,52

Sumber : (Linden & Reddy, 2002)

Elektroda yang memiliki potensial reduksi lebih kecil akan mengalami oksidasi, sebaliknya elektroda yang potensial reduksinya lebih besar akan mengalami reduksi. Suatu sel elektrokimia dapat terjadi secara spontan atau tidak spontan, dapat diperkirakan dari nilai potensial sel atau E^0 sel. Jika potensial bernilai positif, maka reaksi berlangsung spontan. Sebaliknya jika potensial sel bernilai negatif maka reaksi tidak berlangsung spontan.

Secara teori, potensial sel pada keadaan standart dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$E^0_{sel} = E^0_{reduksi} - E^0_{oksidasi} \quad (2.3)$$

Pada kondisi selain keadaan standar, tegangan sel (E) dapat dihitung menggunakan persamaan Nernst.

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K \quad (2.4)$$

Dengan

R : Konstanta gas (8.314 J/mol·K)

T : Temperatur absolut (K)

K: Tetapan kesetimbangan yang nilainya sama dengan perbandingan aktifitas spesi teroksidasi terhadap spesi tereduksi.

$$K = \frac{[a_{\text{oksidasi}}]}{[a_{\text{reduksi}}]} \quad (2.5)$$

Pada kesetimbangan, nilai E sel adalah nol. Sehingga

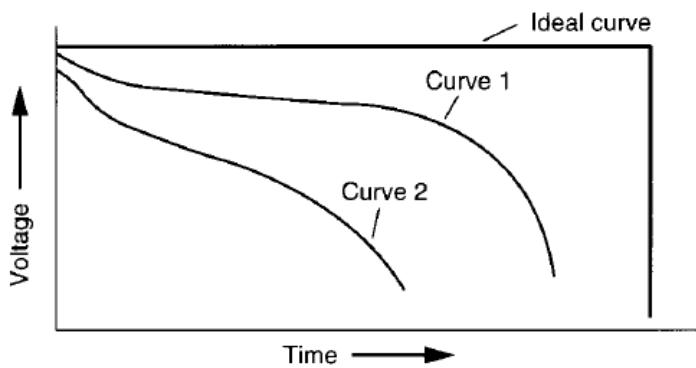
$$E^0_{\text{sel}} = \frac{RT}{nF} \ln K \quad (2.6)$$

$$K = e^{\frac{nFE^0}{RT}} \quad (2.7)$$

Berikut adalah tegangan sel atau baterai pada referensi yang berbeda.

- a. Tegangan teoritis adalah tegangan sel yang merupakan fungsi dari material anoda dan katoda, komposisi elektrolit dan temperatur (biasanya pada 25°C).
- b. Tegangan *open-circuit* adalah tegangan sel saat tidak tersambung ke beban, biasanya nilainya mendekati tegangan teoritis.
- c. Tegangan *close-circuit* adalah tegangan sel saat disambungkan dengan beban.
- d. Tegangan nominal adalah tegangan yang secara umum diterima sebagai tegangan operasi baterai tipikal, sebagai contoh 1,5 V untuk baterai *zinc-manganese dioxide*.
- e. Tegangan kerja, tegangan ini lebih mewakili tegangan operasi sebenarnya dari baterai yang terhubung dengan beban dan nilainya akan lebih rendah dari pada tegangan *open-circuit*.
- f. Tegangan rata-rata adalah tegangan rata-rata selama *discharge*.
- g. Tegangan *midpoint* adalah tegangan pusat selama *discharge* baterai
- h. Tegangan *cut-off* atau tegangan akhir yang didisain sebagai akhir *discharge*. Biasanya tegangan ini kebanyakan diatas kapasitas sel. Tegangan akhir dapat juga bergantung pada aplikasi yang diperlukan.

Pada saat *discharge*, tegangan baterai akan lebih rendah dari tegangan teoritisnya. Perbedaan tersebut disebabkan *losis IR* karena resistansi dan polarisasi material aktif. Berikut adalah ilustrasi tegangan baterai pada saat *discharge*.



Gambar 2.3 Karakteristik kurva discharge baterai (Linden & Reddy, 2002)

Pada kasus ideal, *discharge* baterai berlangsung pada tegangan teoritis hingga material aktif terkonsumsi dan kapasitas terpakai sepenuhnya. Selanjutnya, Tegangan drop sampai nol. Dibawah kondisi yang sebenarnya, kurva *discharge* sama dengan kurva lainnya pada Gambar 2.3. Tegangan awal sel yang terhubung dengan beban nilainya lebih rendah dari nilai teoritisnya dikarenakan resistansi internal, drop IR dan juga pengaruh polarisasi pada kedua elektroda. Tegangan juga mengalami drop selama *discharge* ketika resistansi meningkat disebabkan akumulasi produk *discharge*, aktivasi, konsentrasi, polarisasi dan faktor lain yang berhubungan. Kurva 1 sama dengan kurva 2, tapi kurva 2 menggambarkan sebuah sel dengan resistansi internal yang lebih tinggi atau laju *discharge* lebih tinggi atau keduanya dibanding kurva 1. Ketika resistansi sel atau arus *discharge* meningkat, tegangan *discharge* menurun.

2.3.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang terdapat didalam baterai dan diungkapkan dalam satuan *Ampere-hour (Ah)*. Baterai ketika *discharge* dengan arus konstan, kapasitasnya dinyatakan dengan persamaan (Kiehne, 2003).

$$C_{Ah} = I \Delta t \quad (2.8)$$

Dengan definisi yang lebih umum menjadi

$$C_{Ah} = \int_0^t I(t) \cdot dt \quad (2.9)$$

Parameter *discharge* utama yang mempengaruhi kapasitas disamping desain baterai adalah arus *discharge*, temperature dan batas tegangan seperti tegangan final, tegangan *cut-off* dan *end of discharge* (EOD) yang harus dispesifikasi. Maka dari itu, kapasitas baterai harus ditetapkan pada arus beban dan temperatur spesifik. Parameter lain yang mempengaruhi kapasitas adalah *state of charge (SOC)* dan riwayat baterai seperti waktu penyimpanan terdahulu. *SOC* merupakan suatu ukuran seberapa penuh muatan listrik dalam baterai. *SOC* dinyatakan dalam persen (%), *SOC* 100% apabila baterai secara penuh diisi dan *SOC* 0% apabila baterai dalam keadaan kosong.

Kedalaman pembebanan (*Deep of Discharge*) merupakan parameter penting untuk menentukan jumlah siklus pengisian yang dapat dicapai baterai. *Deep Of Discharge(DOD)* merupakan suatu ukuran seberapa banyak muatan listrik telah dikeluarkan dari sebuah baterai. Jika baterai penuh atau 100% *SOC*, maka *DOD* baterai adalah 0%. Sebaliknya jika baterai kosong atau 0% *SOC* maka *DOD* baterai tersebut adalah 100 % (Budiono, 2015).

2.3.3 Muatan Energi Baterai

Secara umum, energi (E) dalam *Watt hour* (Wh) yang dihasilkan dari baterai dapat ditentukan dengan persamaan.

$$E = \int_0^t U(t) \cdot I(t) \cdot dt \quad (2.10)$$

Dengan

U : Tegangan (V)

I : Arus *discharge* (A)

t : Waktu *discharge* (detik)

Pengukuran kapasitas sering dilakukan pada beban konstan dan keluaran energi dihitung dengan mengalikan kapasitas terukur dengan tegangan *discharge*. Oleh karena terbentuk integrasi yang tepat sesuai dengan persamaan (2.10) atau digunakan tegangan rata-rata. Istilah yang sesuai adalah :

- Tegangan *discharge* awal : tegangan pada saat beban diberikan
- Tegangan rata-rata *discharge* : rata-rata perkiraan tegangan selama *discharge* keseluruhan

- Tegangan *dischargemidpoint* : tegangan setelah 50% dari kapasitas setelah *discharge*(Kiehne, 2003).

2.3.4 Resistansi Internal

Hambatan internal menunjukkan kemampuan baterai untuk menangani beban tertentu. Hambatan internal menentukan besar daya keluaran baterai dan syarat umumnya adalah bahwa resistansi internal DC secara signifikan nilainya harus dibawah piranti. Jika tidak, drop tegangan yang disebabkan oleh permintaan perangkat yang mengkonsumsi akan membatasi durasi output terlalu dini. Arti dari resistansi internal harus dipertimbangkan dengan hati-hati karena tidak sesederhana seperti resistansi ohmik. Resistansi internal bergantung pada cara penentuanya dan pada SOC baterai. Pada kebanyakan baterai, resistansi internal meningkat ketika mendekati akhir *discharge* karena konduktifitas senyawa yang terbentuk menurun.

Metode yang paling sering digunakan untuk menentukan resistansi internal adalah dengan metode *direct-current* yaitu tegangan terminal dibandingkan pada dua beban yang berbeda. Baterai dibebani dengan arus i_1 selama beberapa detik dan didapat tegangan U_1 . Kemudian arus akan naik menjadi i_2 dan tegangan akan turun menjadi U_2 . Resistansi internal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{i_2 - i_1} = \frac{\Delta U}{\Delta i} \quad (2.11)$$

Sehingga R_i yang dihitung mencakup resistansi ohmik didalam elektroda dan elektrolit serta tegangan pada batas fase antara elektroda dan elektrolit. Pada baterai dengan elektrolit cair, resistansi internal dapat ditentukan dengan metode ini hanya pada saat *discharge*, bukan pada saat *charging* karena tingginya tegangan reaksi gasifikasi. Tegangan gasifikasi (*gassing voltage*) adalah tegangan dimana terjadi dekomposisi air menjadi hidrogen dan oksigen. Prosentase terjadinya proses ini sangat kecil. Proses ini terjadi dimulai pada saat keadaan pengisian 85%, dengan demikian terjadi pada *charging* baterai saat masih belum penuh. Tegangan gasifikasi bertambah dengan meningkatnya temperatur baterai (Kiehne, 2003).

2.3.5 Pelepasan Muatan Sendiri Baterai (Self Discharge)

Self discharge artinya hilangnya muatan sedikit demi sedikit pada elektroda positif dan negatif ketika baterai tidak digunakan.

Reaksi *self discharged* dengan S adalah material anoda dengan elektrolit cair. yaitu



Self discharge dapat juga disebabkan oleh bahan yang dapat teroksidasi atau tereduksi dalam elektrolit ketika mencapai elektroda negatif dan positif. Efek ini disebut sebagai *suttle*.

Self discharge memiliki pengaruh pada baterai diantaranya yaitu :

- a. Mengurangi efisiensi anoda dan kapasitas anoda, karena logam tidak dapat seluruhnya digunakan untuk menghasilkan arus.
- b. Peningkatan gas hidrogen yang disebabkan oleh *self discharge*. Hidrogen mengaduk elektrolit dekat permukaan, hal tersebut dapat mempercepat *self-peeling* hasil *discharge*
- c. Panas yang ditimbulkan dari *self discharge* menyebabkan kinerja baterai menjadi rendah karena kenaikan temperatur.

2.4 Elektrolit

Elektrolit merupakan komponen penting dari sel. Seringkali elektrolit hanya sebagai media untuk reaksi elektroda dan tidak muncul dalam reaksi sel, tetapi biasanya terjadi reaksi tertentu antara elektrolit dan material aktif yang tidak dapat dicegah. Sistem baterai yang menggunakan elektrolit air harus memiliki konduktifitas elektrolit cukup tinggi untuk mengurangi polarisasi IR saat beroperasi. Tabel 2.2 menunjukkan tipikal kisaran dari konduktifitas spesifik macam-macam sistem elektrolit yang digunakan dalam baterai.

Tabel 2.2 Kisaran Konduktifitas Berbagai Elektrolit pada Temperature Ambien

Sistem Elektrolit	Konduktifitas Spesifik ($\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$)
<i>Aquoeus Electrolyte</i>	$1-5 \times 10^{-1}$
<i>Molten Salt</i>	$\sim 10^{-1}$
<i>Inorganic Electrolytes</i>	$2 \times 10^{-2} - 10^{-1}$
<i>Organic Electrolytes</i>	$10^{-3} - 10^{-2}$
<i>Polymer Electrolytes</i>	$10^{-7} - 10^{-3}$
<i>Inorganic Solid Electrolytes</i>	$10^{-8} - 10^{-5}$

Sumber : (Linden & Reddy, 2002)

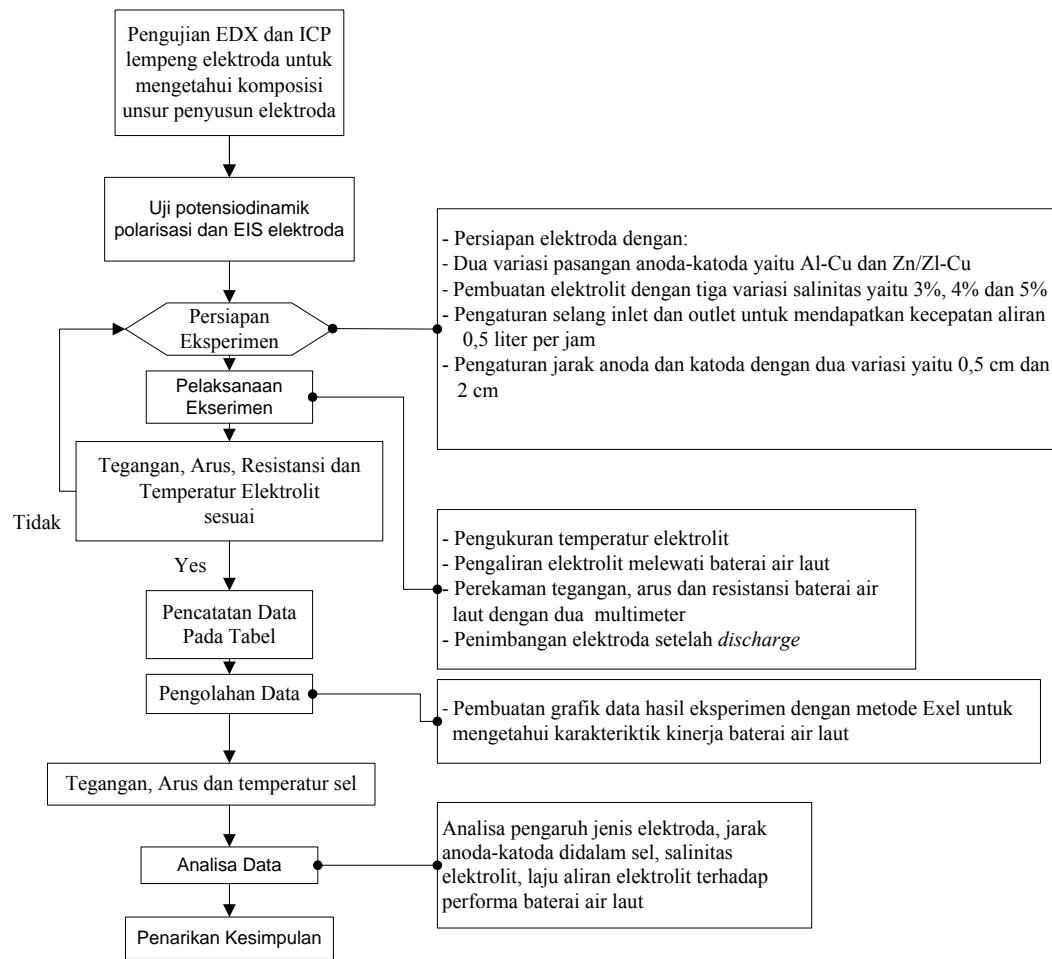
Baterai biasanya didesain untuk aplikasi tingkat tertentu, mulai dari mikro amper sampai beberapa ratus amper. Dengan elektrolit tertentu, sel dapat dirancang untuk memiliki kemampuan yang meningkat dengan meningkatkan area elektrode dan menipiskan separator. Hal tersebut dapat mengurangi *drop IR* yang disebabkan resistansi elektrolit (Linden & Reddy, 2002).

BAB 3

METODA PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir seperti Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Teknik pengambilan pengambilan data secara kuantitatif dan kualitatif. Data yang akan diperoleh pada pengukuran baterai adalah :

- Tegangan keluaran
- Arus keluaran

- Resistansi baterai pada rangakaian *open circuit* dan *close circuit*
- Temperatur ruang dan temperatur elektrolit
- Perubahan fisik lempeng elektroda yang ditunjukkan dengan adanya endapan, lumpur atau perubahan warna pada permukaan elektroda. Perubahan tersebut merupakan hasil efek samping dari reaksi elektrokimia, reaksi korosif dan *self discharge* baterai air laut.

Tegangan dan arus keluaran baterai diukur dengan Multimeter Digital Clamp meter 266. Pengambilan data tegangan dan arus keluaran baterai dilakukan setiap menit sampai didapat tegangan baterai stabil terhadap waktu. Resistansi internal dihitung menggunakan metode *direct current* (Kiehne, 2003). Kinerja baterai air laut akan dikarakterisasi dengan grafik data hasil pengukuran

3.2 Studi Literatur

Studi literature dilakukan sebagai acuan penelitian. Beberapa pustaka dari jurnal dan buku tentang baterai air laut seperti : prinsip kerja, reaksi elektrokimia, material elektroda yang digunakan, desain eksperimen dan faktor yang mempengaruhi kinerja baterai air laut digunakan untuk menyusun kerangka penelitian atau rancangan eksperimen yang akan dilakukan agar data yang diperoleh tervalidasi.

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian baterai air laut adalah kotak plastik 1 berbentuk balok dengan dimensi panjang 4,7 cm, lebar 2,9 cm dan tinggi 7 cm, true-rms multimeterfluke, gunting pelat logam, solder, video recorder, stopwatch digital, selang dengan diameter 5 cm, penjepit buaya, neraca SCA 301, gelas ukur, sendok pengaduk, bak kecil, penggaris, korek api, thermocouple, timah solder, kabel tembaga, resistor dengan nilai hambatan 1 ohm,konduktivitimeter, Pompa sederhana, spet,. Bahan yang diperlukan Sebagai material elektroda adalah aluminium, tembaga, paduan seng/aluminium.Sedangkan bahan lainnya adalah aquades, serbuk NaCl.

3.4 Rancangan Penelitian

Sel baterai air laut tersusun atas anoda, katoda dan elektrolit. Kotak sel berbentuk balok dengan dimensi panjang 4,7 cm, lebar 2,9 cm dan tinggi 7 cm. Elektroda yang digunakan adalah aluminium dengan tebal 0,15 mm, tembaga dengan tebal 0,20 mm dan paduan seng/aluminium dengan tebal 0,33 mm. Luas elektroda yaitu 2 cm x 3 cm. Pada dua sisi dinding kotak sel menempel karet yang berdimensi panjang 2 cm, lebar 0,5 cm dan tinggi 3 cm untuk mengapit elektroda agar jarak anoda dan katoda tetap. Pada dinding atas dan bawah diberi lubang dengan diameter 0,5 cm, lubang bagian atas sebagai tempat masuknya elektrolit dan lubang bagian bawah tempat keluarannya elektrolit. Elektrolit dialirkan melewati lubang-lubang tersebut dengan laju 0,5 l/jam. Pompa sederhana digunakan untuk mendorong elektrolit memasuki sel. Kotak sel ditutup rapat agar elektrolit tidak keluar dari sel ketika pompa mendorong elektrolit. Pada lubang bagian bawah dipasang kran untuk mengatur laju elektrolit. Elektrolit yang telah keluar dari lubang bagian bawah kotak sel akan dialirkan ulang memasuki sel oleh pompa. Elektrolit yang digunakan adalah air laut buatan dengan melarutkan sodium klorida ke dalam aquades. Untuk mendapatkan elektrolit dengan salinitas 3 %, 3 gram sodium klorida dilarutkan kedalam 100 ml aquades (Abdulrehman et al., 2015).

Pengukuran dilakukan pada 24 keadaan dengan variasi jarak anoda-katoda, variasi salinitas elektrolit, variasi laju elektrolit yang melewati sel dan variasi jenis anoda. Jarak anoda-katoda divariasikan sebanyak dua yaitu 0,5 cm dan 2 cm. Salinitas elektrolit divariasikan sebanyak tiga yaitu 3%, 4% dan 5%. Laju elektrolit divariasikan sebanyak dua yaitu 0 liter/jam dan 0,5 liter/jam. Jenis anoda divariasikan sebanyak dua yaitu aluminium dan paduan seng/aluminium. Beban yang akan dialiri arus adalah resistor dengan nilai hambatan 1 ohm. Penjepit buaya digunakan untuk menghubungkan kabel ke elektroda dan kabel ke beban. Sambungan antara kabel dan penjepit buaya disolder agar keduanya benar-benar terhubung. Dua buah multimeter dipasang secara simultan untuk mengukur tegangan dan arus yang melewati beban. Multimeter pertama dipasang secara seri dengan kabel untuk mengukur arus yang melewati beban, sedangkan multimeter

kedua dipasang secara pararel untuk mengukur tegangan keluaran sel. Pengukuran dilakukan selama rata-rata tiga jam.

3.4.1 Parameter Penelitian

Parameter yang akan diukur pada penelitian selama *discharge* baterai air laut adalah :

- a. Tegangan keluaran baterai
- b. Arus keluaran baterai

3.4.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas :

3.4.2.1 Variabel Bebas

- Waktu (t - menit)
- Salinitas air laut (S - persen)
- Kecepatan aliran elektrolit (Q - liter per jam)
- Jenis elektroda
- Jarak anoda dan katoda (r - cm)

3.4.2.2 Variabel Terikat

- Tegangan keluaran (V - Volt)
- Resistansi (Ω - Ohm)
- Arus (I - Ampere)
- Temperatur (T - $^{\circ}$ C)
- Massa elektroda (m - gram)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Penyusun Elektroda

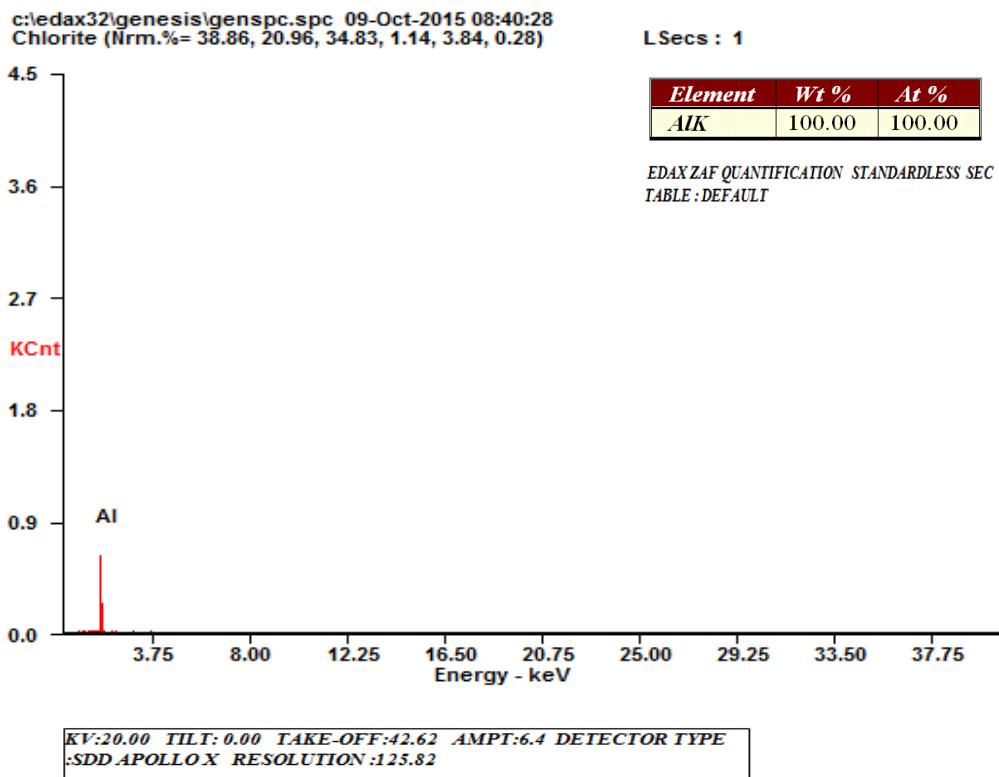
Elektroda yang digunakan pada penelitian adalah lempeng aluminium, lempeng paduan seng-aluminium dan lempeng tembaga. Lempeng elektroda tersebut diproduksi oleh UPT BPPTK LIPI Indonesia. Identifikasi komposisi penyusun elektroda dilakukan dengan uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) dan *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer* (ICP-OES). EDS adalah salah satu teknik karakterisasi untuk menganalisis jenis atom pada permukaan spesimen. Karakterisasi bergantung pada interaksi beberapa eksitasi sinar-X terhadap spesimen. Kemampuan karakterisasi berdasarkan pada prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki struktur tertentu, sehingga memiliki puncak berbeda pada spektrum pancaran sinar-X-nya. *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer* (ICP-OES) adalah teknik analisis elemen yang menggunakan spektrum emisi dari sampel untuk mengidentifikasi dan mengkuantifikasi unsur yang ada.

Pada keadaan dasar, elektron sebuah atom berada pada level energi diskrit. Seberkas cahaya dapat mengeksitasi elektron. Eksitasi adalah peristiwa elektron berpindah ke kulit lebih luar untuk mengisi posisi kosong yang ditinggalkan oleh elektron lain. Berpindahnya elektron ke kulit lebih luar akan disertai radiasi energi. Suatu sinar berenergi tinggi dari partikel yang bermuatan elektron difokuskan ke spesimen untuk merangsang emisi sinar-X karakteristik dari spesimen. Elektron-elektron dari spesimen akan mengalami eksitasi dan memancarkan energi. Energi yang dipancarkan tersebut adalah dalam bentuk sinar-X. Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar X akan dideteksi dan dihitung oleh *energy dispersive spectrometer* dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak energi tertentu yang mewakili unsur yang terkandung.

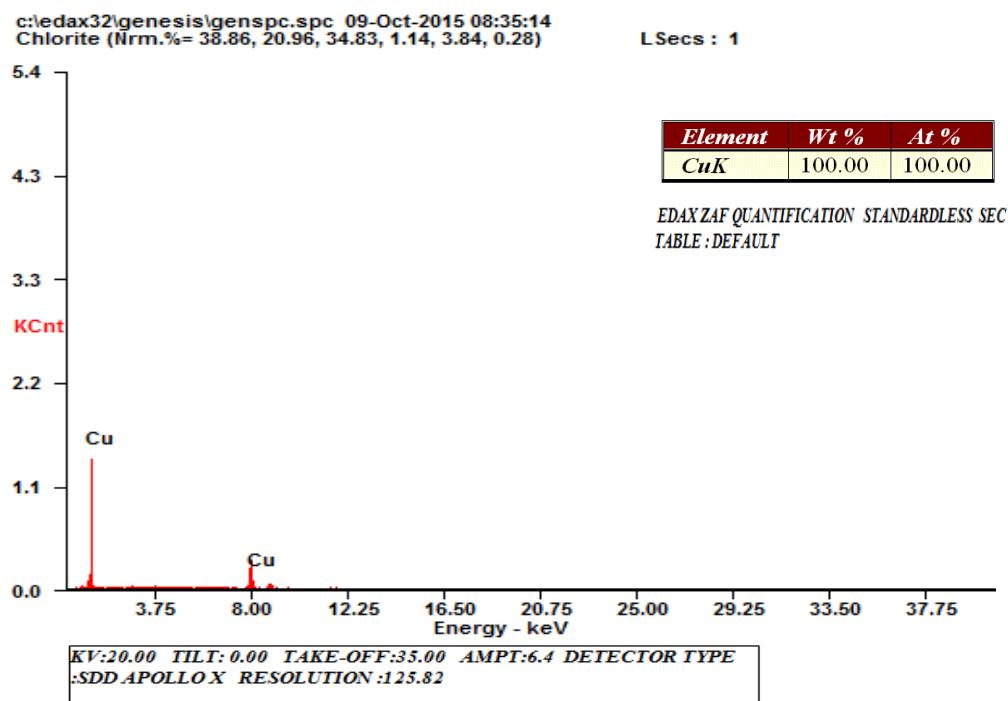
Hasil dari uji EDS disajikan dalam bentuk grafik energi sinar-X yang diradiasikan oleh elemen, persentase berat dan persentase atom sampel. Padaproses eksitasi, elektron dapat berpindah dari kulit pertama ke kulit kedua

atau dari kulit pertama ke kulit ketiga sehingga atom sebuah unsur dapat memiliki sinar-X alfa maupun sinar-X beta dalam grafik hasil uji EDS. Persentase atom (*Atomic percentage*) didasarkan pada jumlah atom didalam sebuah sampel, sedangkan persentase berat (*Weight percentage*) didasarkan pada massa elemen. Analisis EDS dapat mengkuantitatifkan elemen yang diteliti yaitu dengan mengkonversi grafik energi sinar-X menjadipersentase berat dan persentase atom. Analisis kuantitatif pada uji EDS ada dua yaitu analisis standar dan analisis tanpa standar (*standardless*). Analisis tanpa standar lebih banyak digunakan pada uji EDS. Analisis tanpa standart mengkuantifikasi elemen dengan menghitung daerah dibawah puncak kurva setiap elemen teridentifikasi. Salah satu alogaritma perhitungan yang paling banyak digunakan adalah ZAF, dengan Z adalah nomor atom, A dan F adalah nilai absorbansi dan fluoresensi untuk mengkompensasi interaksi puncak sinar-X.

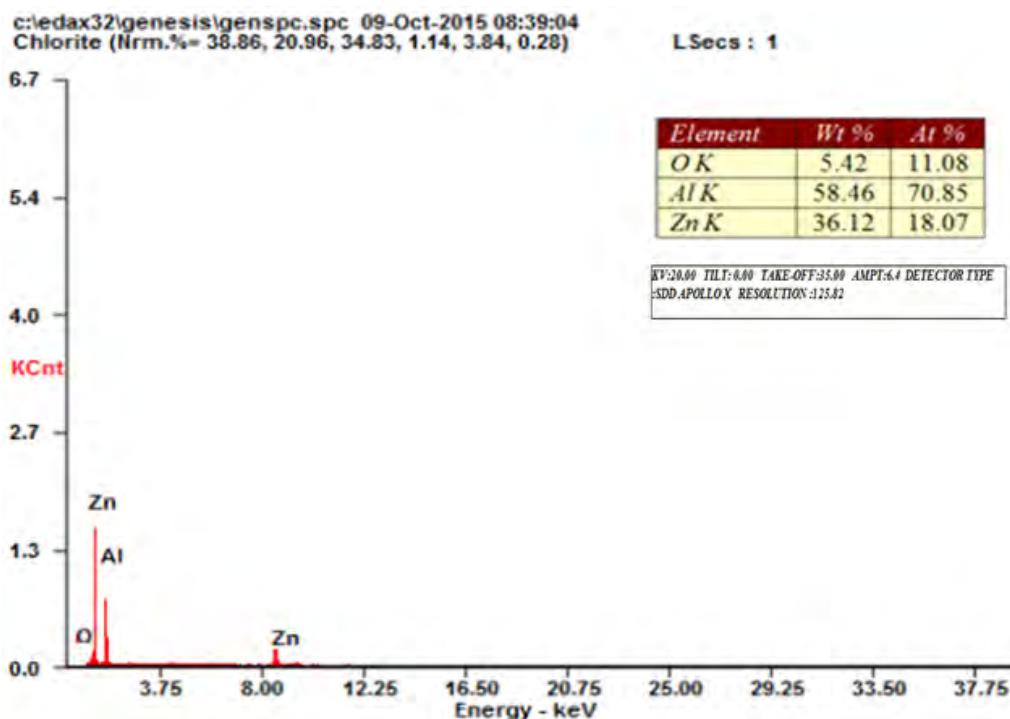
Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) merupakan salah satu teknik analisis yang digunakan untuk penentuan jejak logam. Teknik ICP-OES didasarkan pada emisi foton spontan dari atom dan ion yang telah tereksitasi didalam *radio frequency discharge*. Larutan sampel diubah menjadi aerosol dan diarahkan ke saluran pusat plasma. Kerapatan elektron dan temperatur didalam *Inductively Coupled Plasma* (ICP) sangat tinggi yaitu sekitar 10.000 K. Aerosol yang masuk ke plasma terdesolvasi, menguap, mengurai menjadi atom, tereksitasi dan terionisasi oleh plasma. Atom-atom dan ion yang tereksitasi kemudian kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton. Foton-foton tersebut memiliki energi karakteristik yang ditentukan oleh struktur tingkat energi terkuantisasi untuk atom atau ion. Panjang gelombang dari foton tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur asalnya.



(a)



(b)



(C)

Gambar 4.1 Hasil uji EDS pada elektroda.(a) Aluminium, (b) Tembaga dan (c) Paduan seng-aluminium (Data diperoleh darilaboratorium divisi karakterisasi material teknik material dan metalurgi FTI-ITS)

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penyusun permukaan lempeng aluminium adalah 100% unsur Al. Penyusun permukaan paduan seng-aluminium adalah karbon, oksigen, aluminium dan seng, dengan persentase berat paling besar adalah unsur karbon 49,61%. Penyusun permukaan lempeng tembaga adalah 100% unsur Cu. Untuk mendukung data hasil uji EDS dilakukan uji ICP-OES terhadap lempeng-lempeng elektroda. Pada uji ICP-OES terhadap lempeng-lempeng elektroda, unsur yang diidentifikasi adalah aluminium, tembaga dan seng. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa unsur aluminium yang terdapat pada lempeng aluminium sangat tinggi yaitu 36847 ppm. Unsur tembaga yang terdapat pada lempeng tembaga juga sangat tinggi yaitu 51702,3 ppm. Jika dibandingkan pada lempeng alumunium, unsur aluminium pada paduan seng-alumunium sangat kecil yaitu 850,6 ppm, sedangkan unsur seng sebesar 1008,6 ppm.

Tabel 4.1 Hasil Uji Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer dari Lempeng Aluminium, Lempeng Paduan Seng/Aluminium dan Lempeng Tembaga.

No.	Nama lempeng	Jenis Uji	Hasil (ppm)	Assay
1	Tembaga	Kandungan Cu	51702,3	
2	Aluminium	Kandungan Al	36847	$\geq 99\%$
3	Paduan seng-aluminium	Kandungan Al	850,6	
		Kandungan Zn	1008,6	

Sumber : Data diperoleh dari laboratorium energi-LPPM ITS

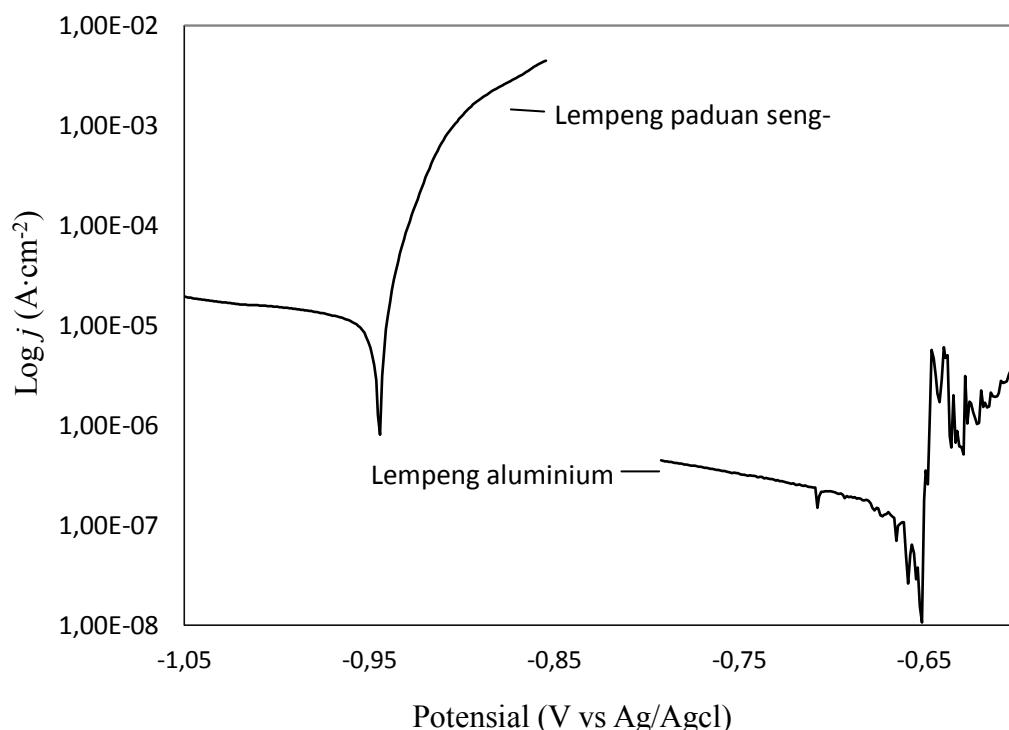
Aluminium merupakan anoda pengganti magnesium yang banyak digunakan pada baterai air laut. Aluminium memiliki potensial standart -1,66 volt(SHE) dan magnesium memiliki potensial standart -2,38 volt (SHE) (Linden & Reddy, 2002). Meskipun aluminium memiliki potensial standar lebih rendah dibandingkan magnesium, tetapi aluminium memiliki beberapa karakteristik yang dapat dipertimbangkan sebagai material anoda pengganti magnesium. Aluminium memiliki laju *self discharge* lebih lambat dan memiliki kapasitas yang lebih besar dibanding magnesium (Shen & Tseung, 1994). Aluminium memiliki kapasitas 2,980 Ah/g dan magnesium memiliki kapasitas 2,205 Ah/g (Nai-guang Wang et al., 2014). Selain itu, jika di lihat dari segi harga, harga aluminium lebih murah dibandingkan dengan magnesium.

Tembaga memiliki potensial standar 0,34 volt (SHE) (Linden & Reddy, 2002)dan memiliki konduktifitas termal kedua tertinggi setelah perak. Perak adalah logam yang banyak dipakai sebagai katoda pada baterai air laut sebagai pasangan magnesium. Tembaga memiliki konduktifitas termal 401 W/m.K dan perak 429 W/m.K. Sedangkan jika dilihat dari konduktifitas listriknya, tembaga memiliki konduktivitas listrik yang tidak jauh berbeda dari perak. Konduktivitas listrik tembaga adalah $6,0 \times 10^7$ ohm. m sedangkan perak adalah $6,8 \times 10^7$ ohm. M. Tembaga memiliki harga yang lebih murah dibandingkan perak (Linden & Reddy, 2002). Tembaga dapat menggantikan perak sebagai katoda baterai air laut karena beberapa sifat yang dimilikinya. Unsur seng pada aluminium sebagai anoda baterai air laut menunjukkan profil potensial standar yang bertambah tinggi

dengan meningkatnya kandungan seng (Wales, Simon, & Schuldiner, 1975). Paduan aluminium dan seng juga terbukti dapat melindungi logam kapal dari korosifitas (May dkk, 1948).

4.2 Polarisasi Potensiodinamik Elektroda

Polarisasi potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam didalam larutan yang bersifat korosif berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik(Rastogi dkk, 2003).Pada pengukuran polarisasi potensiodinamik diperlukan tiga elektroda yang dihubungkan dengan alat potensiostat dan komputer yang sudah terpasang sebuah program penelitian elektrokimia. Beberapa jenis elektroda yang digunakan pada potensiostat adalah elektroda acuan yaitu Ag/AgCl, elektroda bantu yaitu Pt dan elektroda kerja yaitu lempeng aluminium dan lempeng paduan seng-aluminium. Larutan yang digunakan yaitu larutan NaCl 3%, dengan luas elektroda kerja 1 cm^2 .



Gambar 4.2Kurva polarisasi potensiodinamik pada lempeng aluminium dan lempeng paduan seng-aluminium didalam elektrolit dengan salinitas 3% (Data diperoleh dari laboratorium elektrokimia dan nanoteknologi teknik kimia ITS)

Tabel 4.2 Parameter Korosi yang Diperoleh dari Kurva Polarisasi Potensiodinamik.

Lempeng anoda	<i>Corrosion current density</i> J_{corr}	<i>Corrosion potential</i> E_{corr} (vs Ag/AgCl)	<i>Corrosion rate</i> (mm/tahun)	<i>Polarization resistance</i>
Aluminium	29,0090 nA·cm ⁻²	-660,130 mV	0,00094615	23,4620 (kΩ)
Seng-aluminium	16,7800 μA·cm ⁻²	-944,630 mV	0,50254	535,390 (Ω)

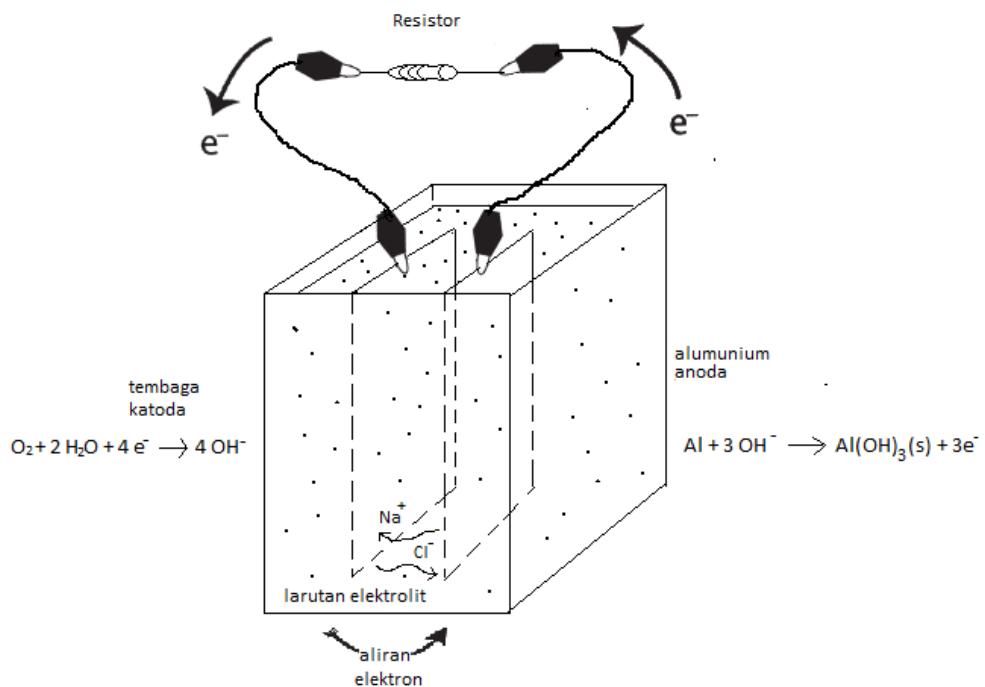
Sumber : Data diperoleh dari laboratorium elektrokimia dan nanoteknologi teknik kimia ITS

Kurva polarisasi potensiodinamik dari kedua lempeng anoda ditunjukkan pada Gambar 4.2. Parameter polarisasi terukur pada kurva polarisasi yaitu kerapatan arus korosi dan potensial korosi ditunjukkan pada Tabel 4.2. Potensial korosi lempeng paduan seng-aluminium jauh lebih negatif jika dibandingkan lempeng aluminium. Jika lempeng aluminium dibandingkan dengan lempeng paduan seng-aluminium, potensialnya bergeser secara negatif sebesar 284,5 mV, sementara kerapatan arus korosinya meningkat sebesar 16,770991 $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$. Nilai potensial korosi yang semakin negatif dengan kerapatan arus korosi yang lebih besar sangat diperlukan sebagai karakteristik material anoda pada baterai air laut(Yu et al., 2015). Dari Tabel 4.2 diperoleh bahwa lempeng paduan seng aluminium lebih baik sebagai anoda jika dibanding lempeng aluminium. Tetapi paduan seng-aluminium juga memiliki kekurangan yaitu laju korosinya lebih besar jika dibanding lempeng aluminium.

4.3 Reaksi Elektrokimia Sel

Pada sel yang tersusun atas aluminium, tembaga dan larutan sodium klorida (NaCl), elektron mengalir melalui larutan elektrolit dan rangkaian eksternal. Aliran elektron diilustrasikan pada Gambar 4.3. Elektron mengalir dari Aluminium-beban-Tembaga-*dissolve oxygen* pada rangkaian eksternal. Tembaga memiliki keelektronegatifan lebih besar dibandingkan dengan aluminium, sehingga elektron tertarik menuju tembaga. Tembaga dan aluminium masing-

masing memiliki potensial standar sebesar +0,34 volt (*Standard Hydrogen Electrode*) dan -1,66 volt (SHE) (Linden & Reddy, 2002). Sedangkan didalam elektrolit, elektron yang dibawa oleh ion mengalir dari tembaga ke aluminium. Elektron dari tembaga akan mengisi kembali elektron yang hilang pada aluminium. Didalam larutan elektrolit, elektron mendapatkan energi potensial melalui serangkaian reaksi kimia sehingga elektron dapat mengalir dari tembaga ke aluminium.



Gambar 4.3 Aliran elektron didalam sel baterai air laut.

Tembaga bekerja sebagai sumber elektron didalam sel. Elektron melewati tembaga setelah mengalir dari beban. Selanjutnya, elektron pada tembaga akan mereduksi oksigen terlarut didalam elektrolit yang disebut dengan reaksi *dissolve Oxygen*. Pada anoda, aluminium teroksidasi menghasilkan elektron. Aluminium dan hidroksida bereaksi menghasilkan aluminium hidroksida Al(OH)_{3(s)} yang berupa endapan putih pada Gambar 4.4. Reaksi yang terjadi didalam sel sebenarnya kompleks, tetapi dapat disederhanakan seperti berikut :

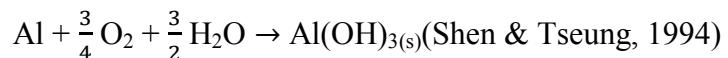


(*Dissolve Oxygen*) (Wilcock dan Kauffman, 1996)

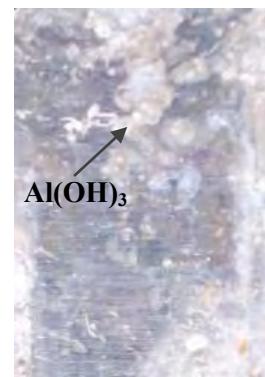
Anoda



Reaksi keseluruhan



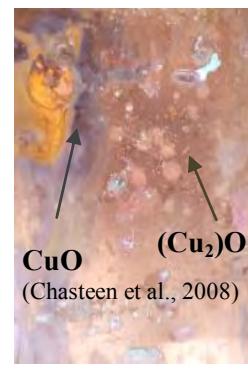
(a)



(b)



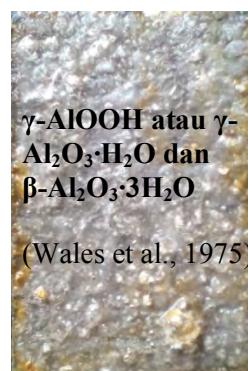
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 4.4 Elektroda sebelum dan setelah discharge : (a) Aluminium sebelum discharge, (b) Aluminium setelah discharge dengan endapan Al(OH)_3 pada permukaan, (c) Tembaga sebelum discharge (d) Tembaga setelah discharge dengan endapan Cu_2O dan CuO yang menempel pada permukaan, (e) Paduan seng-aluminium sebelum discharge dan (f) Paduan Seng-aluminium setelah discharge.

Pada reaksi kimia sel, tembaga tidak ikut bereaksi. Elektron hanya melewati tembaga untuk dapat mereduksi oksigen. Tembaga dan aluminium dapat teroksidasi oleh oksigen terlarut didalam elektrolit. Hasil reaksi oksidasi tembaga oleh oksigen adalah *cuprous oxide* (Cu_2O) dan hasil reaksi oksidasi aluminium oleh oksigen adalah aluminium hidroksida (AlOH_3). Reaksi oksidasi aluminium oleh oksigen lebih banyak terjadi dari pada reaksi oksidasi tembaga karena nilai energi ikat oksidasi aluminium oleh oksigen lebih besar dibanding energi ikat oksidasi tembaga oleh oksigen. Energi potensial standart total oksidasi pada tembaga adalah 1,18 volt atau pada Cu^{2+} adalah 0,48 volt, sedangkan aluminium memiliki energi potensial standart sebesar 3,12 volt (Chasteen, Chasteen, & Doherty, 2008).

Gambar 4.4 (d) menunjukkan hasil reaksi oksidasi tembaga oleh oksigen. Endapan berwarna merah yang menempel pada permukaan tembaga adalah Cu_2O dan endapan berwarna hitam adalah CuO . Pada permukaan aluminium, selain endapan berwarna putih (AlOH_3), juga terdapat gelembung hidrogen yang berasal dari reaksi korosif lain. Reaksi korosif tersebut tidak menghasilkan elektron meskipun jumlah aluminium berkurang. Berikut adalah reaksi korosif yang menghasilkan hidrogen :

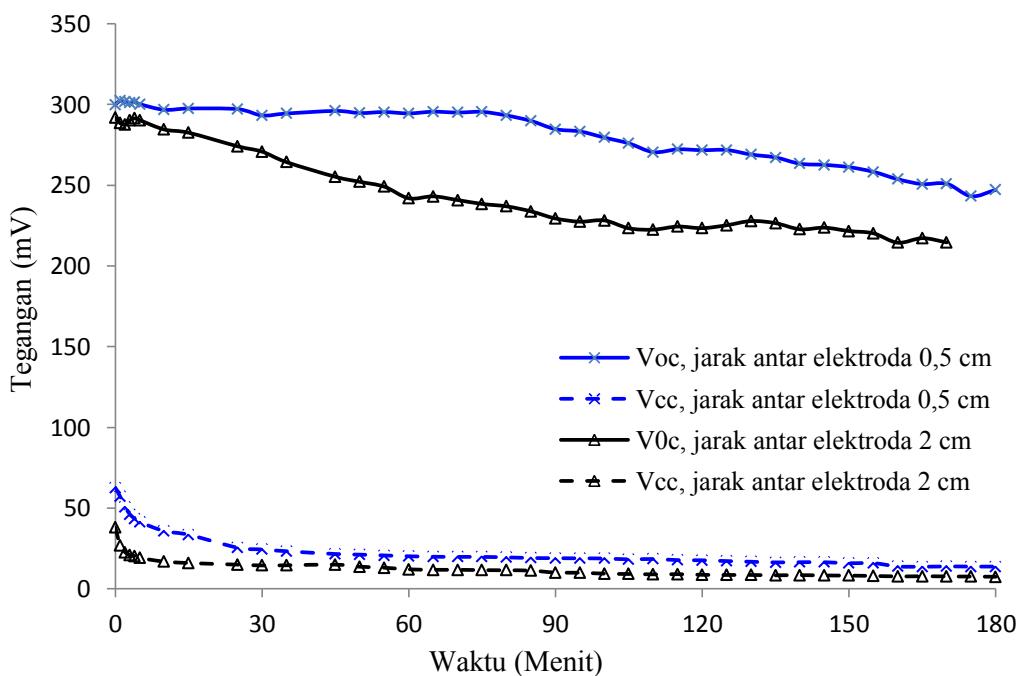


Pada proses *discharge*, sel Zn/Al-Cu diperkirakan menghasilkan oksida hidrat. Mulai dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang diendapkan sebagai $\gamma\text{-AlOOH}$ atau $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ dan berikutnya $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{H}_2\text{O}$. Sedangkan, Zn teroksidasi menjadi Zn^+ (Wales et al., 1975). Material gelatin yang gelap terbentuk selama *discharge*, sepertinya berasal dari logam Zn yang terpisah. Beberapa senyawa Zn dapat direduksi oleh hidrogen pada *Hydrogen evolving corrosion*.

4.4 Karakteristik *Discharge* Sel

Karakteristik performa sel ditunjukkan dengan kurva *discharge* tegangan terhadap waktu, arus terhadap waktu dan resistansi internal sel terhadap waktu. Pengukuran dilakukan rata-rata selama 3 jam. Gambar 4.5 adalah kurva tegangan *open circuit* dan *close circuit* dari sel Al-Cu salinitas elektrolit 3% dan pada laju elektrolit 0 liter/jam. Pada saat *discharge*, tegangan *open circuit* sel

lebih rendah dari tegangan *close circuit* sel karena adanya IR *losses* dan polarisasi material aktif berupa polarisasi aktivasi dan polarisasi konsentrasi (Linden & Reddy, 2002).



Gambar 4.1 Kurva tegangan open circuit dan tegangan close circuit sel Al-Cu selama discharge, salinitas elektrolit 3%, beban 1 ohm dan laju elektrolit 0 l/jam.

Tabel 4.3 Tegangan rata-rata sel Al-Cu yang diperoleh pada Gambar 4.5

Jarak Anoda-Katoda (cm)	Tegangan <i>Open-Circuit</i> (mV)	Tegangan <i>Close-Circuit</i> (mV)
0,5	277,73	19,67
2	235,87	10,64

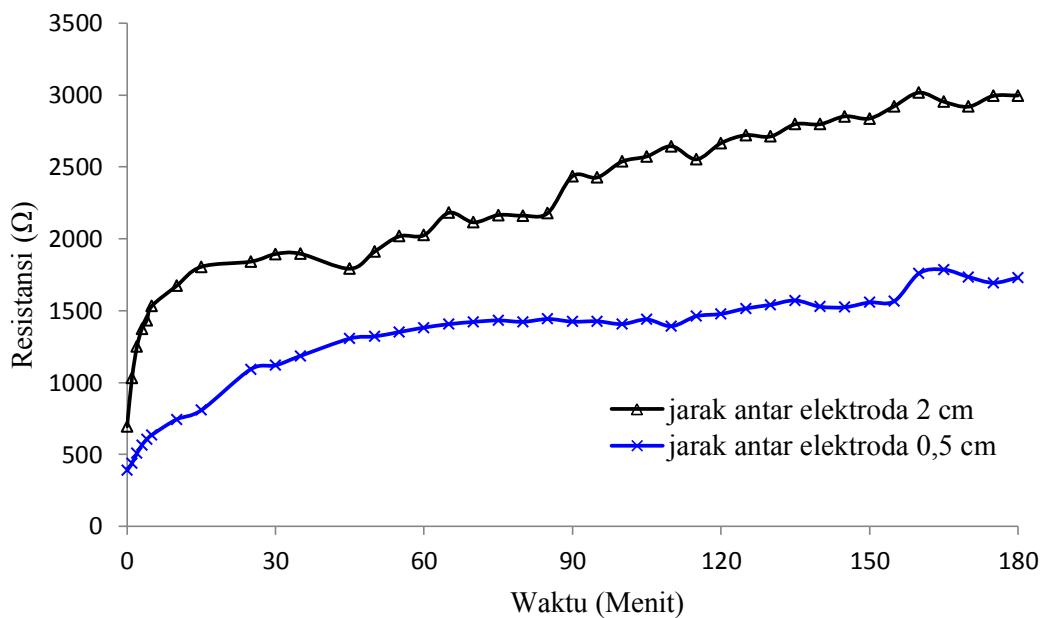
Pada Gambar 4.5 menunjukkan penurunan tegangan *open circuit* pada jarak anoda-katoda 2 cm lebih cepat jika dibanding pada jarak 0,5 cm. Sel dengan jarak anoda-katoda 2 cm memiliki laju *selfdischarge* yang lebih besar dibanding pada jarak 0,5 cm karena terdapat oksigen terlarut yang lebih banyak di daerah antara anoda dan katoda sehingga profil tegangannya menurun lebih cepat.

Reaksi self *discharge* pada katoda akan menghasilkan Cu₂O dan CuO, sedangkan pada anoda akan menghasilkan gelembung hidrogen. Hasil reaksi self *discharge* akan menempel dan jumlahnya semakin banyak pada permukaan elektroda, sehingga mempengaruhi tegangan *open circuit* sel. Selisih tegangan rata-rata *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu selama *discharge* tiga jam pada yaitu 258,06 mV pada jarak anoda-katoda 0,5 cm dan 225,23 pada jarak anoda-katoda 2 cm.

Energi yang tersimpan didalam sel baterai bergantung pada reaksi elektrokimia kedua elektrode. Meskipun begitu, banyak faktor yang dapat mempengaruhi nilai reaksi *charge-transfer*, laju difusi dan energi *losses*. Faktor yang mempengaruhi yaitu bentuk dan desain elektroda, konduktifitas elektrolit, karakteristik pemisah dan masih banyak lagi. Efisiensi operasi sel yang besar diperoleh pada elektrolit yang memiliki konduktifitas yang cukup tinggi. Pada konduktifitas tinggi, elektrolit memiliki polarisasi IR yang kecil.

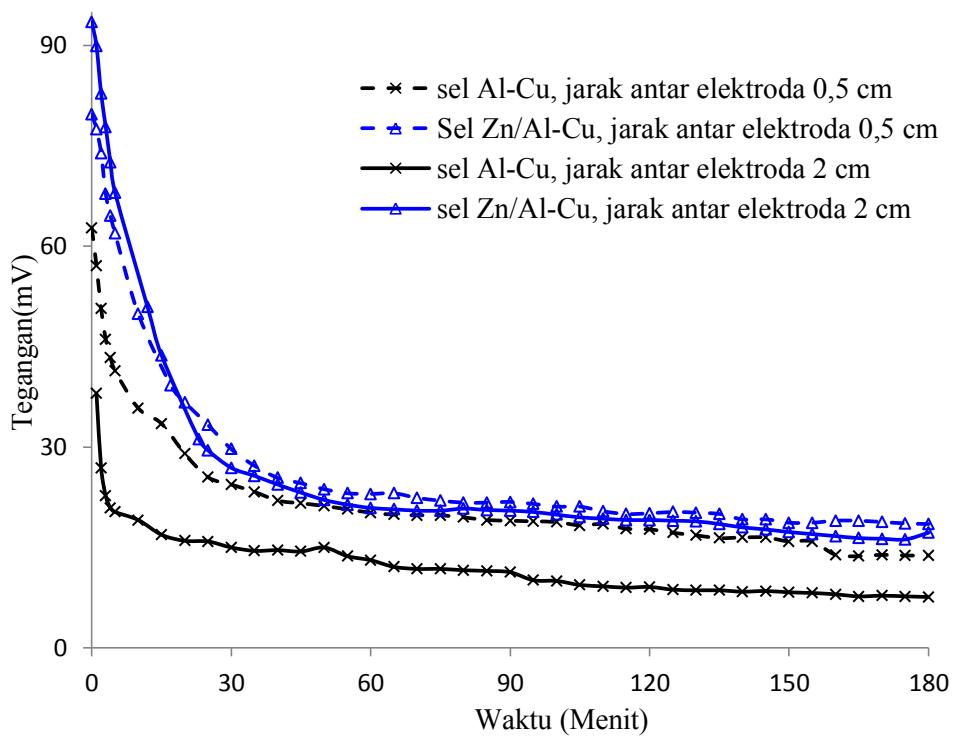
4.4.1 Pengaruh Jarak

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa resistansi sel Al-Cu pada jarak anoda-katoda 2 cm lebih besar dibandingkan pada jarak anoda-katoda 0,5 cm. Selain itu, selisih resistansi juga semakin meningkat selama *discharge*. Resistansi sel dapat dipengaruhi oleh salah satunya yaitu jarak antar elektroda. Jarak anoda-katoda yang besar dapat meningkatkan resistansi elektrolit. Tegangan sel akan berkurang jika resistansi sel terlalu besar.

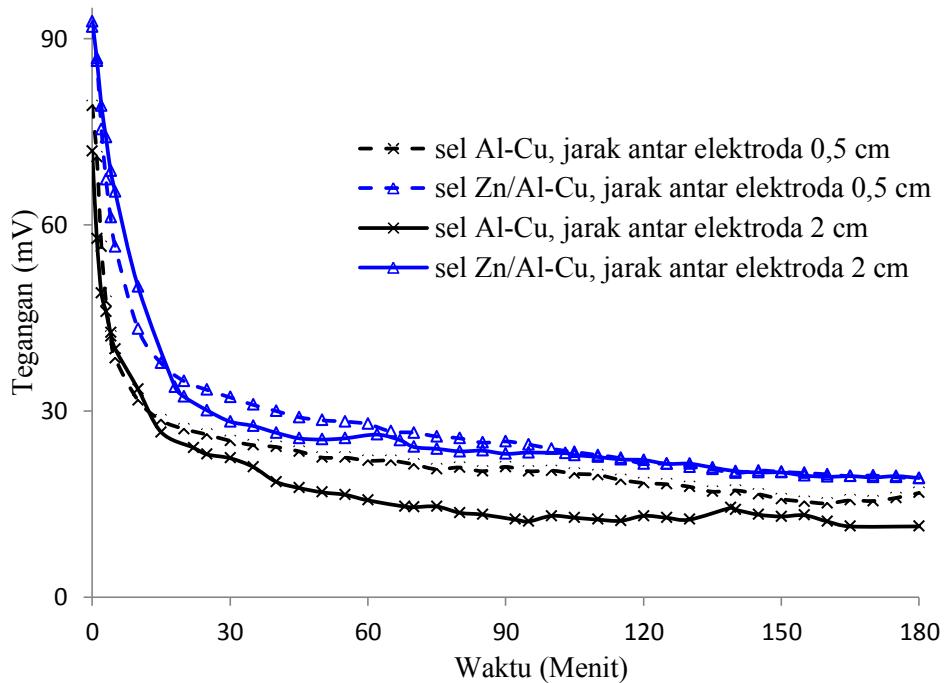


Gambar 4.2 Kurva resistansi sel Al-Cu sebagai fungsi jarak anoda-katoda. Laju elektrolit 0 l/jam dan salinitas elektrolit 3%.

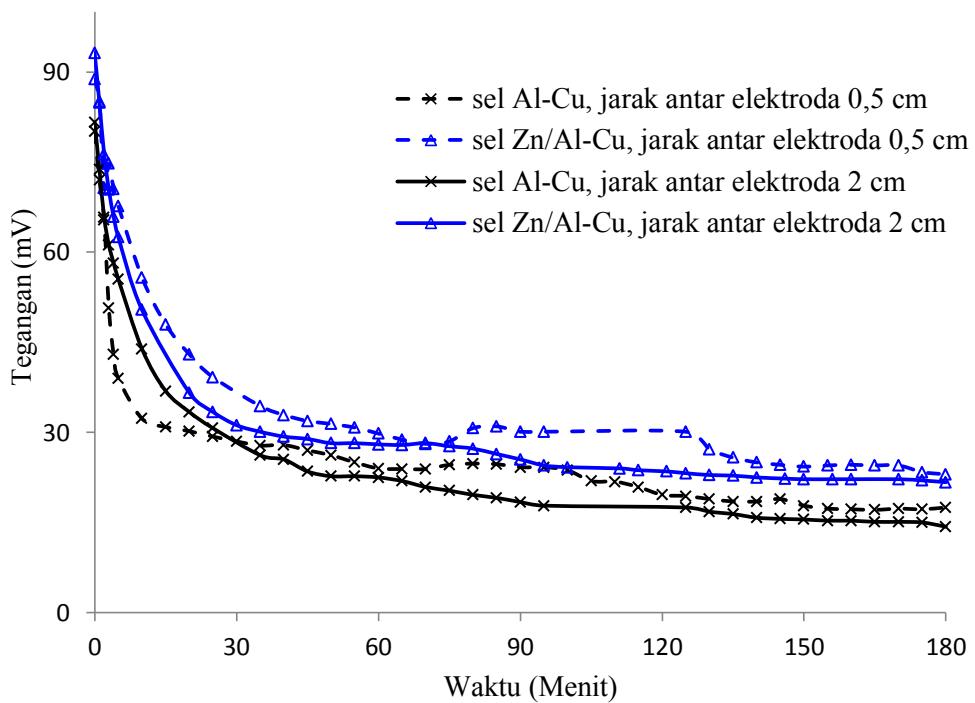
Reaksi elektrokimia sel menjadi terhalang oleh endapan tersebut. Gambar 4.7 menunjukkan tegangan *discharge* sel pada jarak anoda-katoda 2 cm lebih rendah dibanding pada jarak 0,5 cm, hal tersebut disebabkan resistansi pada jarak 2 cm lebih besar jika dibandingkan jarak 0,5 cm. Selain jarak anoda-katoda, tegangan *discharge* sel juga dipengaruhi oleh reaksi *dissolve oksigen*. Reaksi *dissolve oksigen* bergantung pada kandungan oksigen terlarut didalam elektrolit (Naiguang Wang, Wang, Peng, Feng, & Chen, 2012). Gambar 4.7 juga menunjukkan potensial *discharge* sel Zn/Al-Cu lebih besar dibandingkan dengan sel Al-Cu. Hal tersebut disebabkan potensial korosi lempeng Zn/Al-Cu lebih negatif dibandingkan lempeng Al.



(1)



(2)



(3)

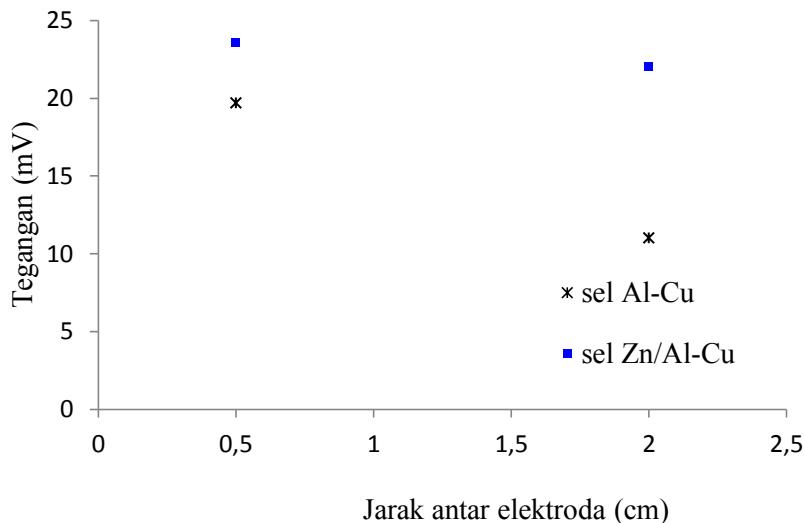
Gambar 4.3 Kurva discharge tegangan-waktu pada anoda dan jarak antar elektroda yang berbeda. Laju elektrolit 0 liter/jam. Salinitas elektrolit (1) 3%, (2) 4% dan (3) 5%.

Tabel 4.4 Tegangan Rata-Rata yang Diperoleh dari Gambar 4.7

	Tegangan Rata-Rata (mV)					
	Salinita Elektrolit 3%		Salinita Elektrolit 4%		Salinita Elektrolit 5%	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Jarak antar elektroda 0,5 cm	19,67	23,51	20,53	25,44	22,94	30,55
Jarak antar elektroda 2 cm	11	21,99	15,86	24,35	20,05	26,67

Tabel 4.4 adalah nilai tegangan rata-rata sel setelah 10 menit discharge. Pada menit pertama sampai menit ke 10 tegangan sel merupakan tegangan aktivasi. Tegangan aktivasi pada salinitas elektrolit tertentu nilainya

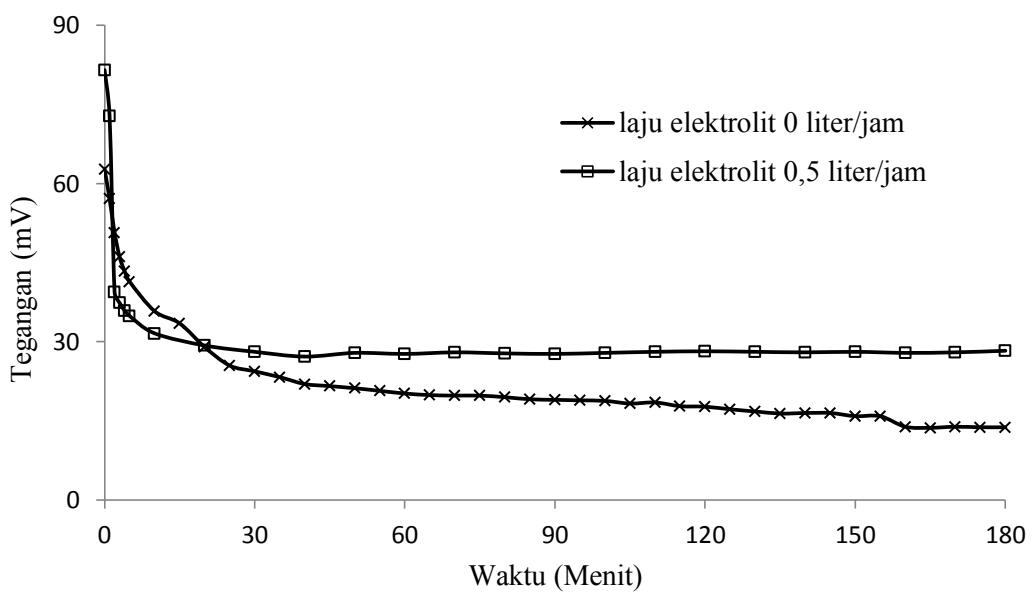
beragam. Salinitas elektrolit yang tinggi juga dapat memiliki tegangan aktifasi rendah, begitu juga sebaliknya.



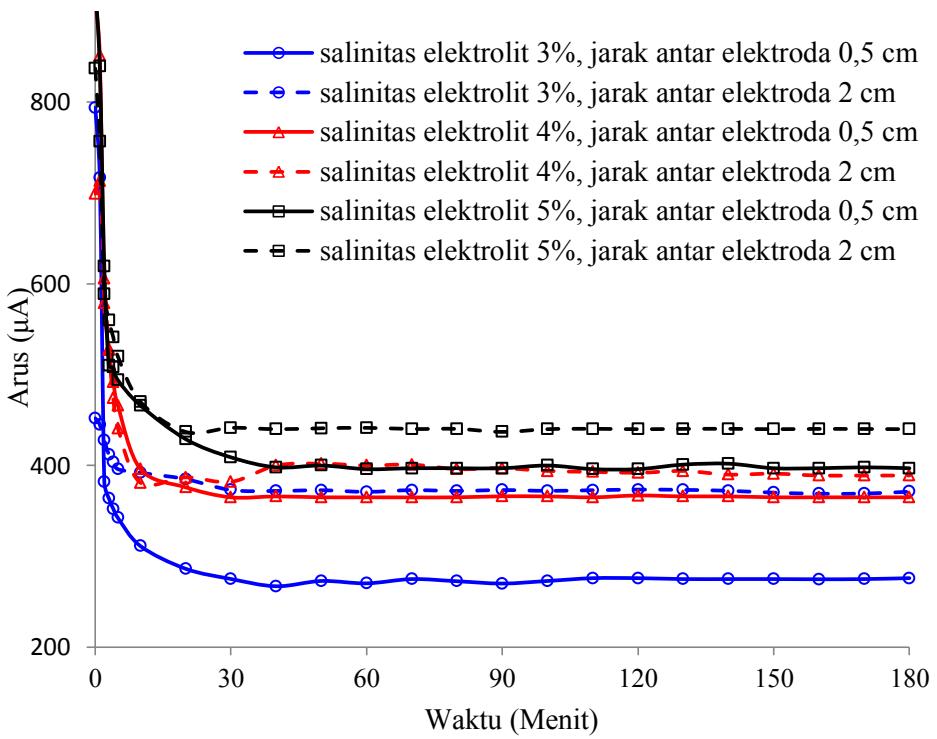
Gambar 4.4 Kurva tegangan rata-rata sel baterai air laut sebagai fungsi jarak antar elektroda pada sel dengan salinitas elektrolit 3% dan laju elektrolit 0 liter/jam.

4.4.2 Pengaruh Laju Elektrolit

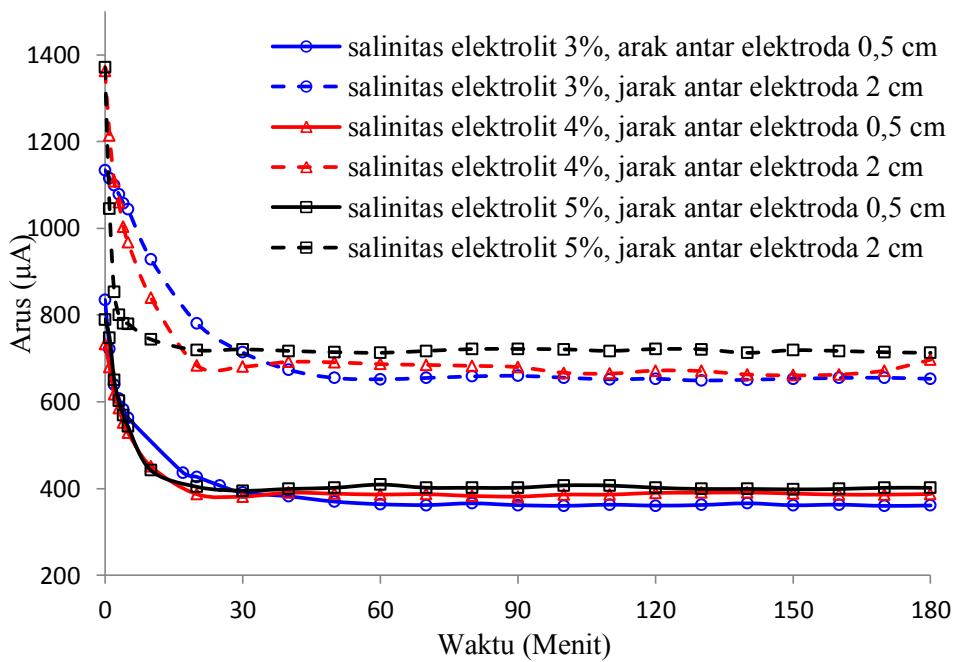
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa laju elektrolit yang melewati sel memiliki pengaruh signifikan terhadap arus keluaran sel. Sel dengan elektrolit yang diam didalam kotak sel memiliki profil tegangan yang semakin menurun terhadap waktu, sedangkan pada sel dengan elektrolit yang dialirkan pada laju 0,5 l/jam memiliki kurva tegangan datar rata-rata setelah menit ke-30. Aliran elektrolit dapat menyapu oksida dan hasil rekasi korosif lain yang menempel pada permukaan elektroda. Aliran elektrolit juga membawa oksigen segar memasuki sel sehingga sel dapat aktif kembali. Laju reaksi elektrokimia pada katoda bergantung pada jumlah oksigen terlarut didalam elektrolit (Hasvold et al., 1997). Reaksi *dissolve oxygen* pada katoda menghasilkan hidroksida (OH^-) di daerah dekat elektroda, sehingga sel dengan elektrolit yang diam didalam kotak sel lama-lama akan kehabisan oksigen di daerah dekat tembaga yang membuat arus keluaran menurun terhadap waktu. Performa sel menurun terhadap waktu juga disebabkan karena logam telapisi oksida-oksida dan hasil samping reaksi korosif lainnya.



Gambar 4.5 Kurva discharge tegangan-waktu sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm.



(1)



(2)

Gambar 4.6 Kurva discharge arus-waktu pada laju elektrolit sama 0,5 liter/jam, salinitas elektrolit dan jarak antar elektroda berbeda. (1) sel Al-Cu dan (2) sel Zn/Al-Cu

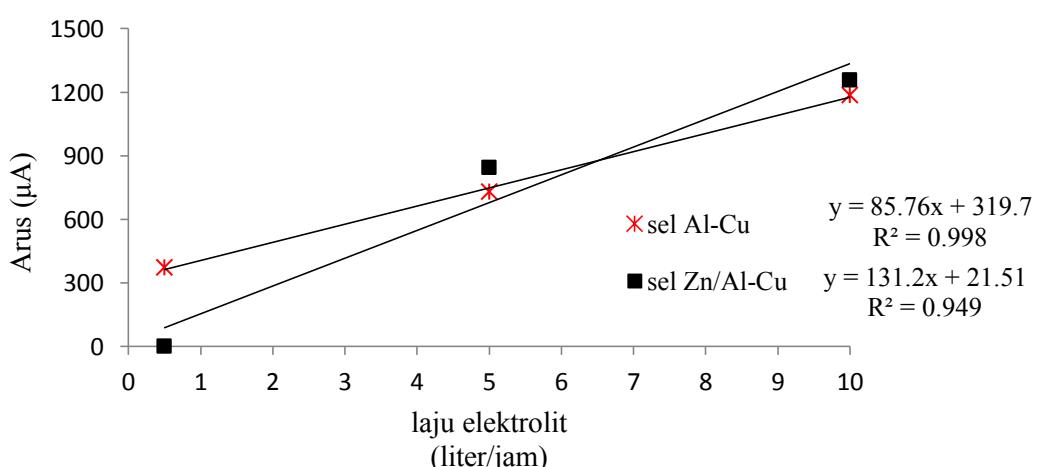
Gambar 4.10 menunjukkan kurva *discharge* arus terhadap waktu sel Al-Cu dan Sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit dan jarak antar elektroda yang berbeda, namun pada laju elektrolit yang sama. Terdapat pola yang sama antara sel Al-Cu dan sel Zn/Al-Cu yaitu arus keluaran yang lebih besar diperoleh dari salinitas elektrolit yang lebih besar, tetapi pada jarak antar elektroda yang lebih kecil. Hal tersebut disebabkan kandungan oksigen daerah antara anoda dan katoda pada jarak 2 cm lebih banyak dibandingkan pada jarak 0,5 cm, sehingga reaksi *dissolve oxygen* yang berlangsung lebih banyak. Pada keadaan salinitas elektrolit yang sama, sel Zn/Al-Cu memiliki arus yang lebih besar dibandingkan sel Al-Cu karena lempeng Zn/Al memiliki kerapatan arus korosi yang lebih besar dibanding lempeng Al.

Tabel 4.5 Nilai Arus Rata-Rata Sel pada Laju Elektrolit 0,5 Liter/Jam yang Diperoleh dari Gambar 4.10

	Arus rata-rata (μA)			
	Sel Al-Cu		Sel Zn/Al-Cu	
	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm	Jarak antar elektroda 0,5 cm	Jarak antar elektroda 2 cm
Salinitas Elektrolit 3%	273,68	371,87	365,86	659,11
Salinitas elektrolit 4%	365,44	393,69	386,83	676,88
Salinitas elektrolit 5%	398,63	440,19	401,61	717,79

Tabel 4.6 Nilai Arus Rata-Rata Sel Sebagai Fungsi Laju Elektrolit dengan Salinitas Elektrolit 3% dan Jarak Antar Elektroda 2 cm

	Arus rata-rata sel (μA)	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Laju elektrolit 0,5 liter/jam	371,87	659,11
Laju elektrolit 5 liter/jam	730,88	843,5
Laju elektrolit 10 liter/jam	1185,69	1255,84

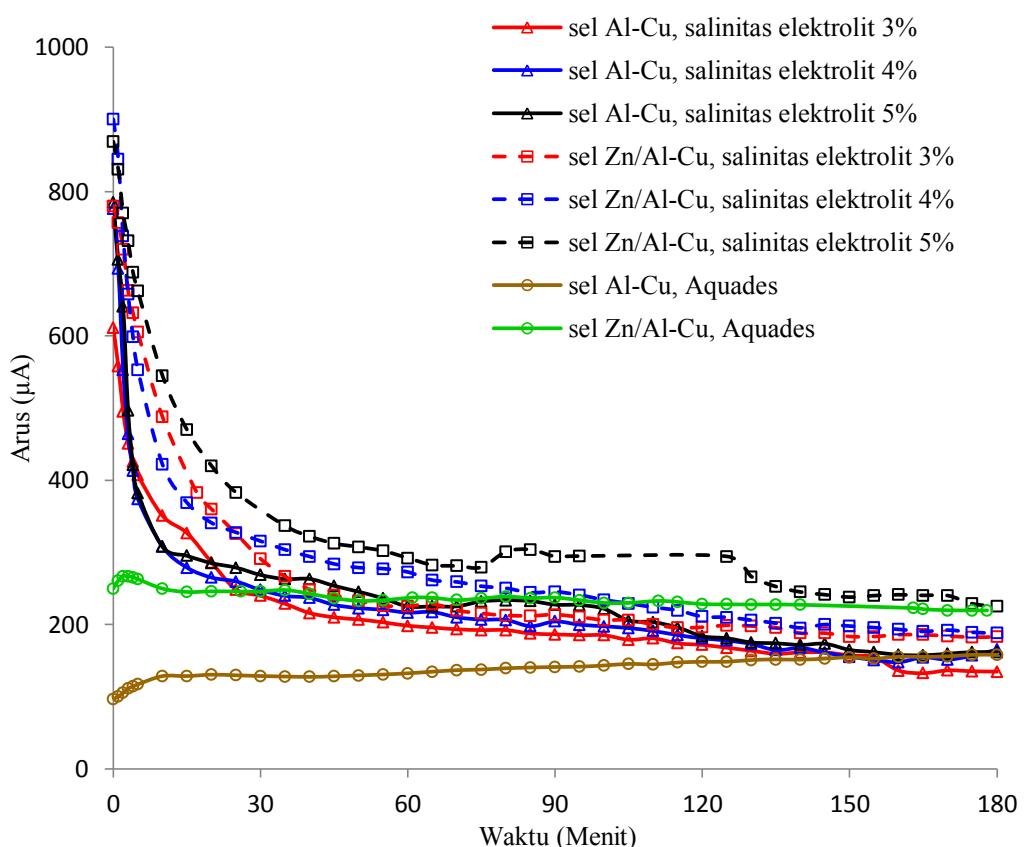


Gambar 4.7 Kurva arus rata-rata sel sebagai fungsi laju elektrolit pada salinitas 3% dan jarak antar elektroda 2 cm.

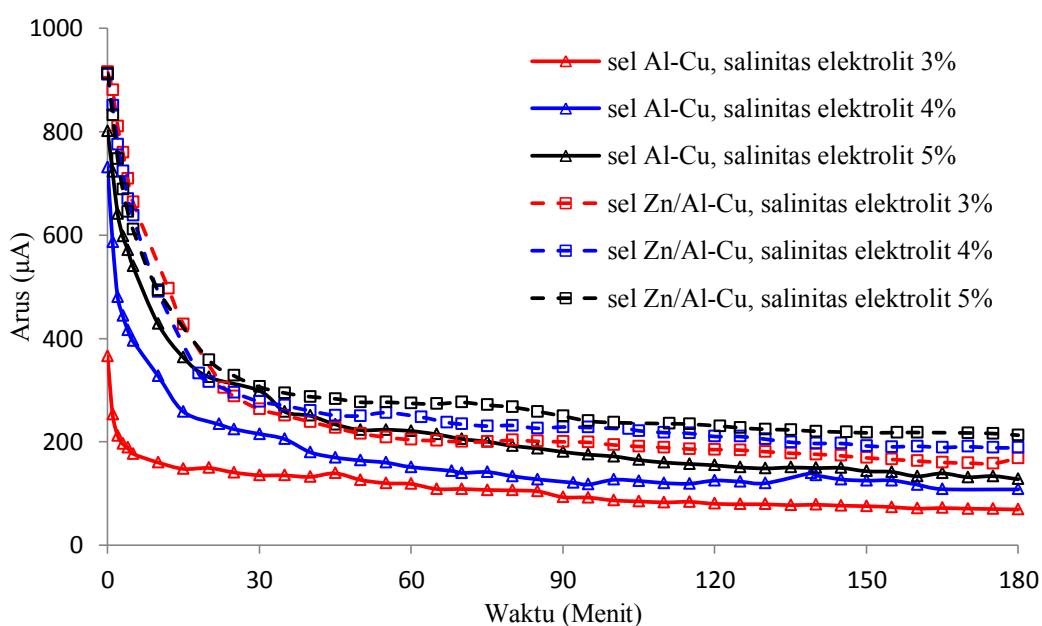
Gambar 4.11 menunjukkan nilai arus rata-rata sel semakin besar dengan meningkatnya laju elektrolit yang melewati sel. Laju aliran elektrolit yang semakin cepat, maka dapat menyapu endapan yang menghalangi reaksi elektrokimia lebih cepat pula. Suplai oksigen baru yang dibawa oleh aliran elektrolit juga semakin banyak dengan meningkatnya laju aliran elektrolit. Normalnya arus keluaran sel baterai meningkat dengan meningkatnya laju aliran elektrolit, tetapi kerja hidrodinamik juga meningkat dengan meningkatnya laju aliran, sehingga terdapat kecepatan aliran optimal untuk mencapai nilai tegangan maksimal (Wang dkk, 2014).

4.5.3 Pengaruh Salinitas

Kurva *discharge* arus terhadap waktu juga digunakan untuk menguji karakteristik performa sel Al-Cu sebagai fungsi salinitas elektrolit. Arus tidak bergantung pada konsentrasi garam yang terkandung didalam elektrolit, tetapi meningkatnya kandungan garam akan meningkatkan konduktivitas elektrolit (Chasteen et al., 2008). Senyawa yang termasuk elektrolit kuat mempunyai daya hantar listrik yang baik walaupun memiliki konsentrasi yang kecil.



(1)



(2)

Gambar 4.8 Kurva discharge arus-waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda : (1) 0,5 cm (2) 2 cm.

Gambar 4.12 menunjukkan pola *discharge* yang sama terdapat pada jarak anoda-katoda 2 cm dan 0,5 cmsel Al-Cu maupun sel Zn/Al-Cu. Arus yang lebih tinggi diperoleh pada salinitas elektrolit yang lebih besar karena semakin banyak NaCl yang terlarut dalam aquades maka semakin NaCl yang terionisasi. Apabila semakin banyak muatan-muatan dalam larutan maka semakin banyak arus listrik yang dihantarkan, hal tersebut akan menyebabkan nilai konduktifitas suatu larutan akan semakin besar. Pada discharge satu jam pertama, nilai arus pada elektrolit aquades jauh lebih rendah jika dibandingkan pada elektrolit yang mengandung NaCl. Pada aliran elektron didalam larutan elektrolit, garam sangat berperan penting. Reaksi reduksi pada katoda menghasilkan ion hidroksida. Ion sodium (Na^+) akan mengalir ke arah kiri untuk menetralkan ion OH^- yang dihasilkan tembaga. Selanjutnya, ion klorin (Cl^-) akan bergerak ke kanan menggantikan OH^- yang digunakan pada reaksi oksidasi. Hasilnya adalah elektron bergerak ke kanan yaitu dari tembaga ke aluminium dan reaksi tersebut hanya terjadi pada garam.

Tabel 4.7 Nilai Konduktifitas Larutan NaCl

Salinitas larutan NaCl	Konduktifitas (miliSiemen)	Temperatur larutan NaCl ($^{\circ}\text{C}$)
3%	44,7	31
4%	59,3	31,3
5%	73,9	31,4

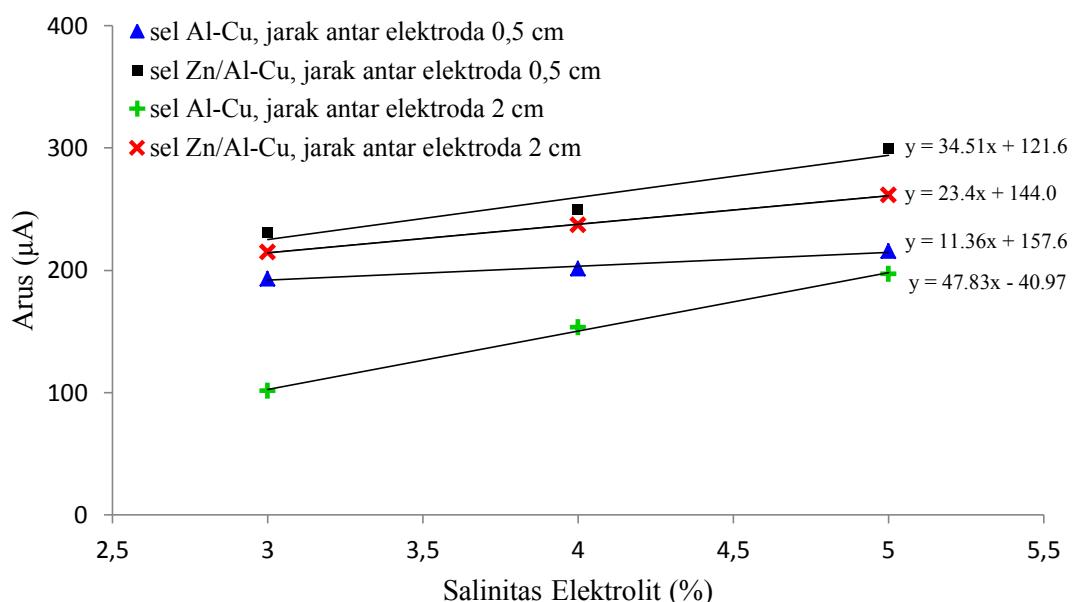
Sumber : Data diperoleh dari laboratorium manajemen lingkungan dan PPM Teknik Lingkungan ITS

Arus yang terukur pada sel dengan elektrolit aquades menunjukkan bahwa didalam aquades masih terkadnung garam dalam jumlah sedikit, sehingga masih dapat terjadi reaksi elektrokimia yang mengasilkan arus. Nilai arus sel Zn/Al-Cu dengan elektrolit sodium klorida terlihat sama dengan elektrolit aquades setelah satu jam, hal tersebut disebabkan adanya endapan hasil reaksi korosi sel yang menghalangi keberlangsungan reaksi elektrokimia. Pada sel dengan elektrolit aquades, sel ZnAl-Cu memiliki arus keluaran yang lebih besar jika dibandingkan

sel Al-Cu. Hal tersebut disebabkan anoda Zn/Al memiliki kerapatan arus korosi lebih besar dibandingkan anoda Al.

Tabel 4.8 Nilai Arus Rata-Rata yang Diperoleh dari Gambar 4.12

	Arus rata-rata (μA)			
	Jarak antar elektroda 0,5 cm		Jarak antar elektroda 2 cm	
	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu	Sel Al-Cu	Sel Zn/Al-Cu
Aquades	142,09	x	233,97	x
Salinitas elektrolit 3%	192,69	230,42	101,03	214,62
Salinitas elektrolit 4%	201,32	249,21	153,31	236,92
Salinitas elektrolit 5%	215,43	299,45	196,69	261,42



Gambar 4.9 Persamaan linear arus sel pada laju elektrolit 0 liter/jam sebagai fungsi salinitas elektrolit.

Efisiensi Operasi sel yang tinggi didapatkan pada eletrolit yang memiliki konduktifitas elektrolit cukup tinggi karena polarisasi IR-nya rendah (Linden & Reddy, 2002). Resistansi larutan merupakan faktor penting yang menentukan

impedansi pada reaksi elektrokimia sel. Resistansi elektrolit bergantung pada konsentrasi, tipe ion, temperatur dan geometri area tempat yang dialiri arus. Hubungan resistansi terhadap konduktivitas, luas area dan jarak anoda-katoda pada arus yang mengalir didalam larutan melalui dua elektroda didefinisikan sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A}$$

Dengan

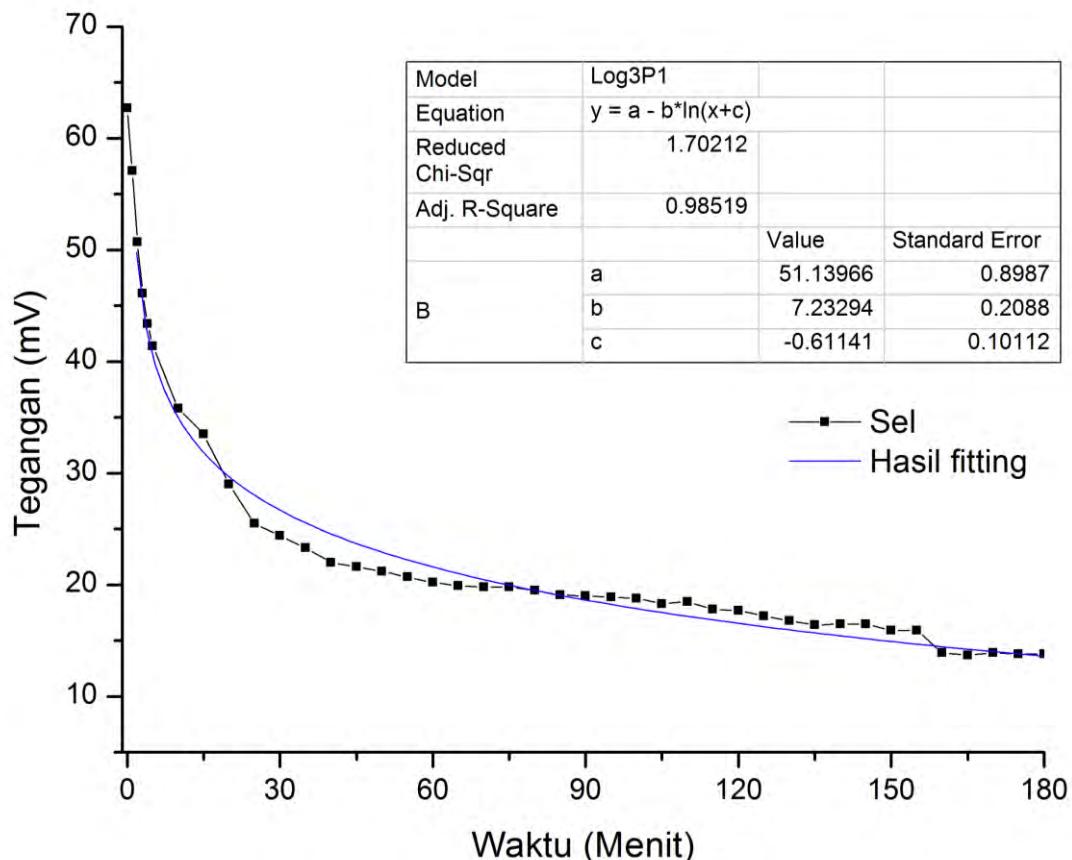
R adalah resistansi elektrolit (ohm)

ρ adalah resistivitas larutan (ohm m)

A adalah luas penampang elektroda (m²)

σ adalah konduktivitas elektrolit (ohm m⁻¹)

l adalah jarak kedua elektroda (m)

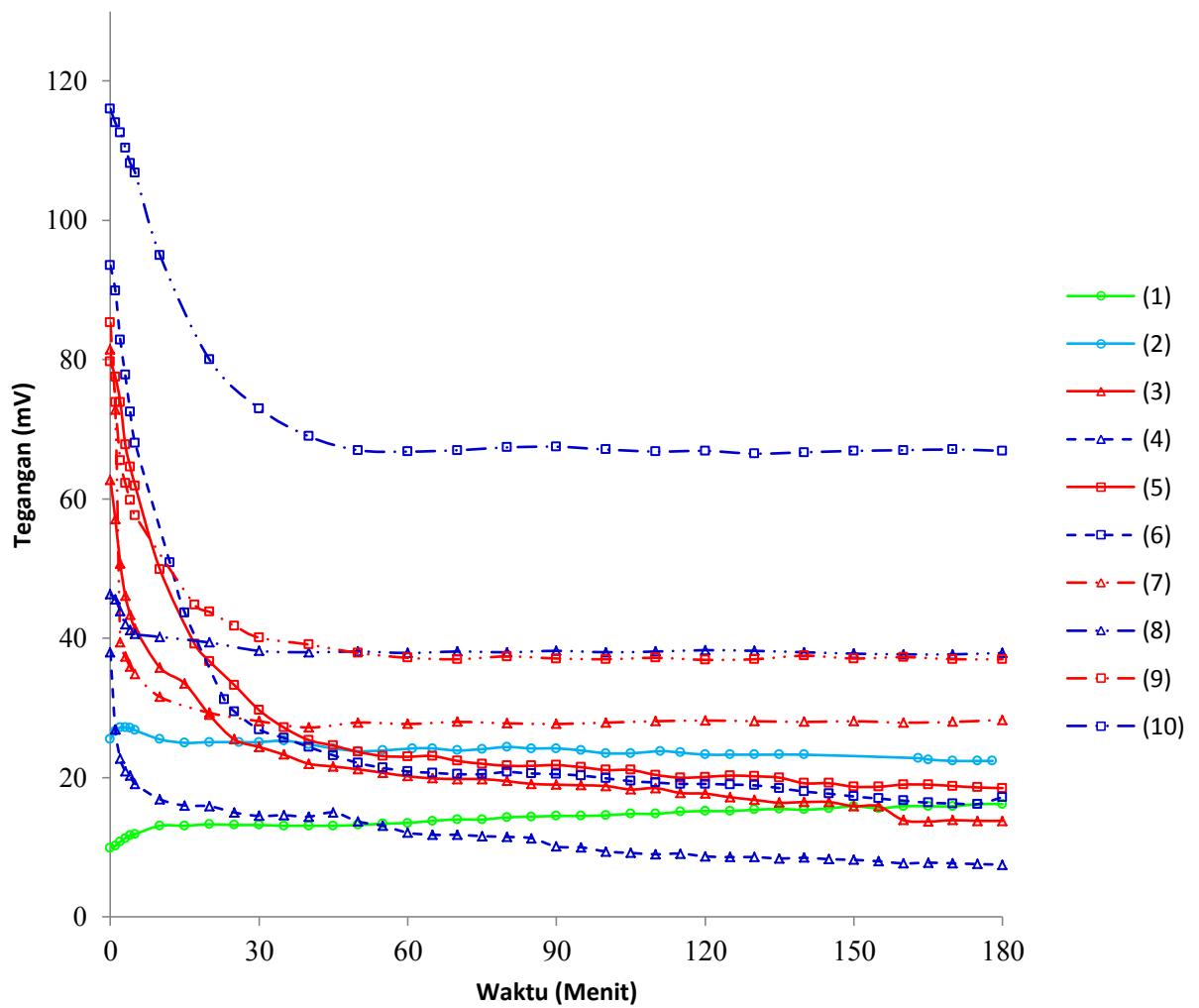


Gambar 4.14 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.

Tabel 4.9 Model persamaan Tegangan Sel pada Elektrolit Diam didalam Sel

Sel	Jarak Antar Elektroda (cm)	Salinitas Elektrolit (%)	Persamaan Grafik Tegangan Sel
Al-Cu	0,5	3	$Y = 51,13966 - 7,23294 \ln(x - 0,61141)$ $R^2 = 0,98519$
		4	$Y = 49,8538 + 6,7311 \ln(x - 0,95784)$ $R^2 = 0,97562$
		5	$Y = 53,96386 - 7,13434 \ln(x - 0,92703)$ $R^2 = 0,94777$
	2	3	$Y = 25,81125 - 3,44927 \ln(x - 0,00245)$ $R^2 = 0,97083$
		4	$Y = 49,41406 - 7,76957 \ln(x - 0,70099)$ $R^2 = 0,97183$
		5	$Y = 68,95893 - 11,13039 \ln(x - 0,44893)$ $R^2 = 0,98758$
Zn/Al-Cu	0,5	3	$Y = 73,05347 - 11,29929 \ln(x - 0,51271)$ $R^2 = 0,95231$
		4	$Y = 70,00842 - 10,19634 \ln(x - 0,82541)$ $R^2 = 0,97492$
		5	$Y = 78,44162 - 11,01508 \ln(x - 0,5129)$ $R^2 = 0,96023$
	2	3	$Y = 80,56776 - 13,31517 \ln(x - 0,63177)$ $R^2 = 0,93662$
		4	$Y = 75,12803 - 11,52753 \ln(x - 0,7214)$ $R^2 = 0,93414$
		5	$Y = 74,1008 - 10,78108 \ln(x - 0,70079)$ $R^2 = 0,95971$

Grafik discharge sel dapat difitting dengan model log3P1 dengan software Origin 8.5. Dari hasil fitting didapatkan persamaan umum $y = a - b \ln(x+c)$ dengan y adalah tegangan sel dan x adalah waktu. Persamaan logaritmik sel hasil fitting pada Tabel 4.9 sesuai dengan pertamaan tegangan sel yang terhubung ke sebuah beban yang diberikan oleh Nernst yaitu $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K$.



Gambar 4.15 Kurva discharge tegangan sel pengaruh jenis anoda, salinitas elektrolit, laju antar elektroda dan laju elektrolit.

Keterangan :

- (1) Sel Al-Cu, Aquades, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0 l/jam
- (2) Sel Zn/Al-Cu, Aquades, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0 l/jam
- (3) Sel Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0 l/jam

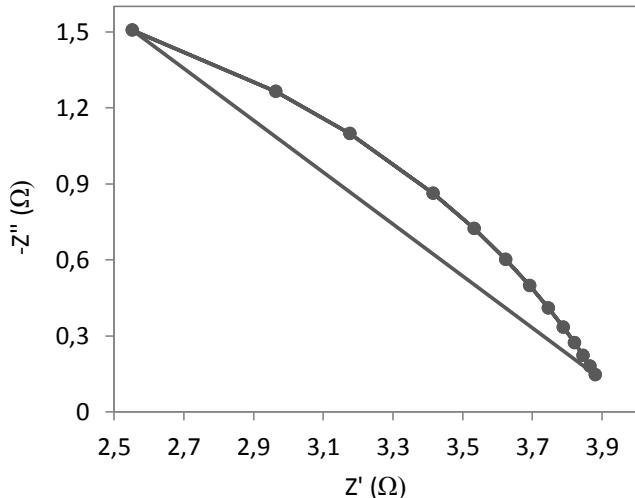
- (4) Sel Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 2 cm, Laju elektrolit 0 l/jam
- (5) Sel Zn/Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0 l/jam
- (6) Sel Zn/Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 2 cm, Laju elektrolit 0 l/jam
- (7) Sel Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0,5 l/jam
- (8) Sel Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 2 cm, Laju elektrolit 0,5 l/jam
- (9) Sel Zn/Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 0,5 cm, Laju elektrolit 0,5 l/jam
- (10) Sel Zn/Al-Cu, Salinitas elektrolit 3%, Jarak antar elektroda 2 cm, Laju elektrolit 0,5 l/jam

Dari Gambar 4.15 didapat bahwa sel dengan anoda Zn/Al rata-rata memiliki tegangan yang lebih besar jika dibanding sel dengan anoda Al. Pada saat discharge 30 menit pertama tegangan aquades sangat rendah jika dibandingkan sel dengan salinitas elektrolit 3%, hal tersebut menunjukkan pentingnya adanya kandungan garam pada elektrolit. Tegangan sel dengan elektrolit di alirkan melalui sel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tegangan sel. Selisih tegangan sel sangat besar didapatkan pada elektrolit dialirkan melewati sel jika terhadap elektrolit diam didalam sel. Sedangkan pengaruh jarak antar elektroda tidak terlalu signifikan, ditunjukkan dengan selisih tegangan yang kecil pada jarak antar elektroda 0,5 cm dengan 2 cm. Sehingga dari Gambar 4.15 didapatkan urutan variabel yang mempengaruhi performa sebuah sel adalah jenis anoda, jalinitas elektrolit, laju elektrolit dan jarak antar elektroda.

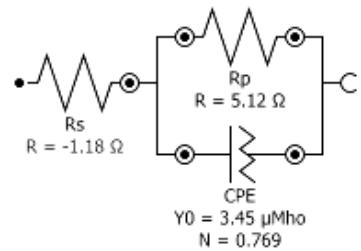
4.5 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) adalah suatu metode untuk menganalisis respon suatu elektroda terkorosi terhadap suatu sinyal potensial AC pada amplitude rendah (± 10 mV) dari rentang frekuensi yang

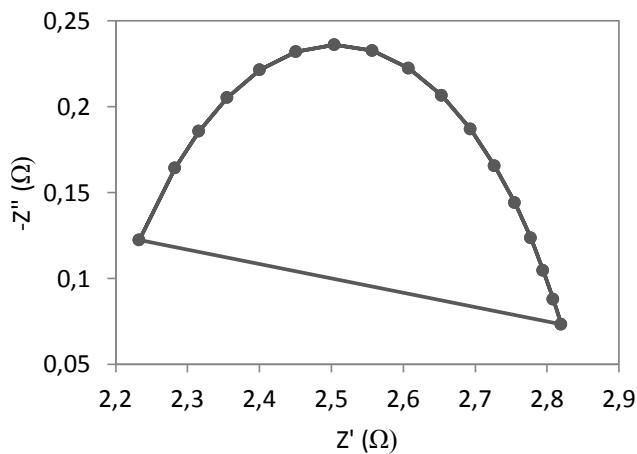
sangat lebar. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia yang berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti resistansi (R), kapasitansi (C) dan induktansi (L). Hasil pengujian dengan metode EIS ditampilkan dalam bentuk diagram Nyquist yang terdiri dari nilai impedansi rill (Z') terhadap nilai impedansi imajiner (Z'') yang merupakan fungsi dari frekuensi. Kurva Nyquist dapat mengindikasikan apakah proses elektroda adalah activation-controlled mode yang ditunjukkan dengan grafik loop kapasitif, diffusion-controlled mode yang ditunjukkan dengan grafik berupa garis lurus 45^0 atau kombinasi dari keduanya (Udhayan dkk, 1996).



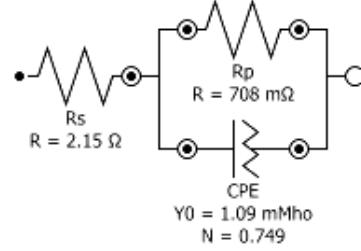
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.16 Hasil uji EIS lempeng Al dan lempeng Zn/Al didalam larutan NaCl 3%. (a) Plot Nyquist lempeng Al, (b) Equivalent circuit model lempeng Al (c) Plot Nyquist lempeng Zn/Al dan (d) Equivalent circuit model lempeng Zn/Al.

Pengukuran dilakukan pada frekuensi 0,1 – 100000 Hz dan amplitudo AC 0,02 V. Gambar 4.12 merupakan hasil uji EIS lempeng Al dan lempeng Al/Zn didalam larutan NaCl 3%. Plot Nyquist lempeng Al dan lempeng Al/Zn sama-sama memiliki loop kapasitif tunggal di semua frekuensi. Grafik setengah lingkaran mengindikasikan bahwa *interface* lempeng Al/larutan NaCl dan *interface* lempeng Zn/Al/larutan NaCl pada penelitian ini kontrol oleh proses aktivasi terkontrol (*activation-controlled mode*). Diameter setengah lingkaran memberikan informasi nilai resistansi *charge-transfer* (R_{ct} atau R_p) pada *interface* elektroda/larutan NaCl yang berhubungan dengan laju korosi. Semakin besar nilai R_p , maka semakin kecil laju korosinya karena laju korosi berbanding terbalik dengan R_p (Kun Yu dkk, 2012). Perpotongan pada sumbu x pada frekuensi yang lebih tinggi memberikan informasi nilai resistansi larutan (R_s). Nilai R_p lempeng Al dari plot Nyquist adalah $5,12\Omega$, sedangkan nilai R_p lempeng Al/Zn adalah $708\text{ m}\Omega$. Nilai R_p lempeng Zn/Al yang lebih kecil dari lempeng Al mengindikasikan bahwa resistansi korosi paduan tersebut lebih rendah, tetapi sebaliknya laju korosinya lebih tinggi. C_{dl} atau CPE adalah kapasitansi *double layer*. CPE mencakup dua parameter yaitu Y_0 dan N . Dimensi Y_0 adalah $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}\text{s}^N$, sedangkan N adalah pangkat tanpa dimensi. Parameter Y_0 dapat dikonversi menjadi kapasitansi menggunakan persamaan berikut :

$$C = Y_0 (\omega_t)^{N-}$$

Dengan C adalah kapasitansi dalam $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-2}\text{s}^N$, ω_t adalah frekuensi angular yang merupakan bagian imaginer dari impedansi (-Z") yang bernilai maksimum (Naiguang Wang, Wang, Peng, & Feng, 2014). Lempeng Al memiliki nilai $Y_0 3,45\mu\text{Mho}$ dan $N 0,769$, sedangkan lempeng Zn/Zl memiliki nilai $Y_0 1,09\text{mMho}$ dan $N 0,749$. Berdasarkan nilai Y_0 dan N pada plot Nyquist, nilai CPE lempeng Al lebih kecil dari lempeng Zn/Al. Kecilnya nilai CPE pada lempeng Al menunjukkan adalah lapisan pelindung yang padat dan relatif tipis pada permukaan lempeng didalam lingkungan klorida saat proses korosi (Yu, Huang, Zhao, & Dai, 2012). Selama proses korosi, lapisan pelindung yang semakin

menumpuk pada permukaan lempeng menghalangi Al larut dalam elektrolit (Yu, Tan, Hu, Chen, & Li, 2011).

LAMPIRAN

A. Tabel Jumlah Keadaan Berdasarkan Variasi Jenis Elektroda, Salinitas, Laju Elektrolit dan Jarak Anoda-Katoda.

Pasangan Elektroda	Salinitas Elektrolit (%)	Laju Aliran Elektrolit (liter per jam)	Jarak Anoda-Katoda (cm)	Keadaan
Al-Cu	3	0	0,5	1
			2	2
		0,5	0,5	3
			2	4
	4	0	0,5	5
			2	6
		0,5	0,5	7
			2	8
	5	0	0,5	9
			2	10
		0,5	0,5	11
			2	12

Pasangan Elektroda	Salinitas Elektrolit (%)	Laju Aliran Elektrolit (liter per jam)	Jarak Anoda-Katoda (cm)	Keadaan
Zn/Al-Cu	3	0	0,5	13
			2	14
		0,5	0,5	15
			2	16
	4	0	0,5	17
			2	18
		0,5	0,5	19
			2	20
	5	0	0,5	21
			2	22
		0,5	0,5	23
			2	24

Pasangan Elektroda	Salinitas Elektrolit (%)	Laju Aliran Elektrolit (liter per jam)	Jarak Anoda-Katoda (cm)	Keadaan
Al-Cu	Aquades	0	0,5	25
Zn/Al-Cu				26

B. Standar Operasional Prosedur (SOP)

Tujuan

- Transparansi proses penelitian
- Memberi penjelasan tentang tata aliran kerja pelaksanaan penelitian
- Menjamin tetap terjaganya kualitas penelitian

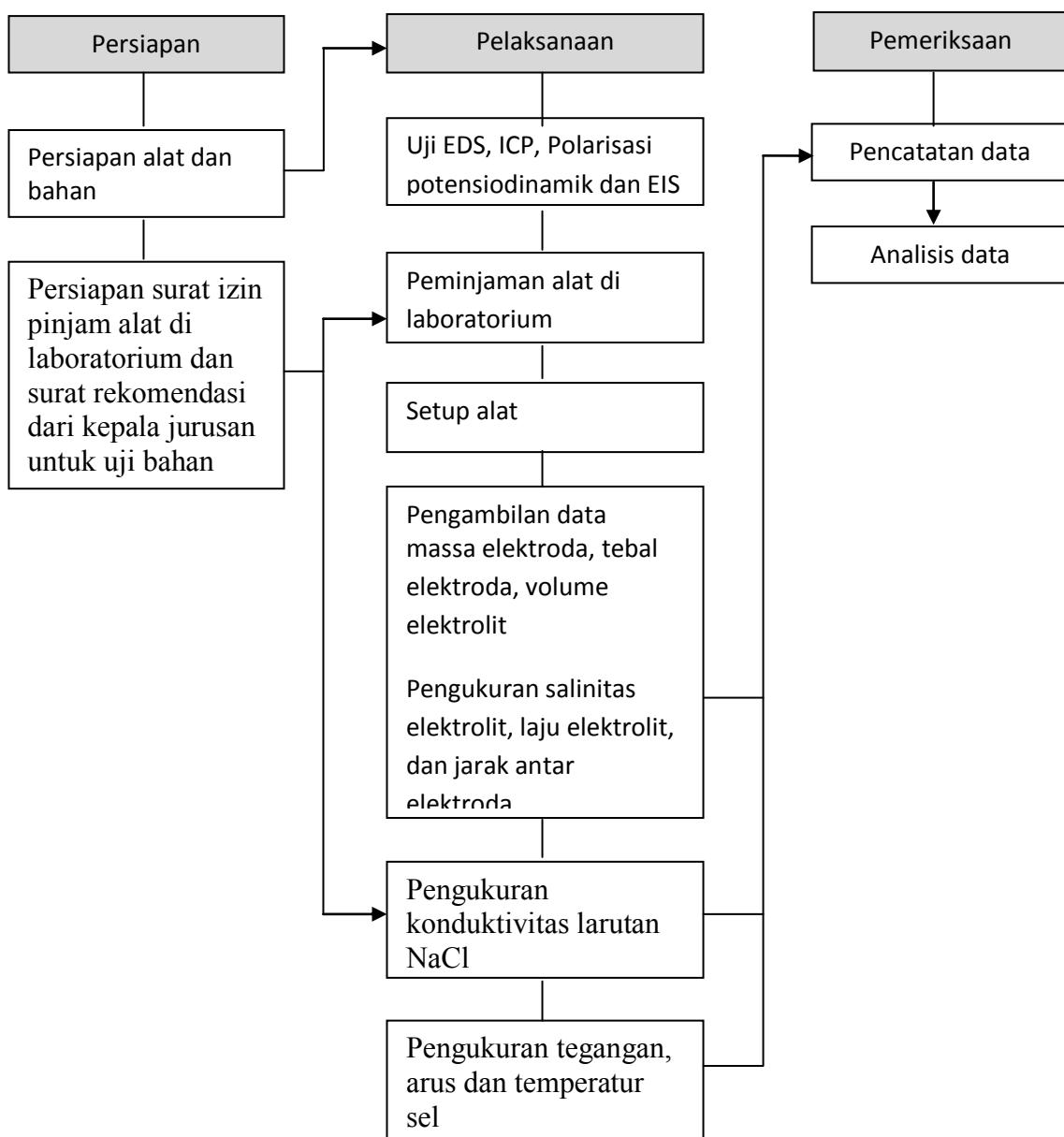
Ruang lingkup

Lingkup panduan ini mengatur prosedur kerja penelitian yang berkaitan dengan pelaksanaan kegiatan penelitian

Definisi

Alat adalah kumpulan peralatan atau perkakas yang digunakan dalam menunjang kegiatan penelitian.

Prosedur



Gambar B.1 Prosedur SOP

Persiapan

1. Persiapan alat dan bahan

Alat :

- Kotak plastik berbentuk balok dengan dimensi panjang 4,7 cm, lebar 2,9 cm dan tinggi 7 cm sebagai kotak sel
- Plastik lebar sebagai penutup sel

- Multimeter digital merek fluke -175 EJKCT dan sanwa CD772
- Gunting pelat logam
- Solder
- Video recorder
- Stopwatch digital
- Selang bening dengan diameter 5 cm
- Kran kecil
- Penjepit buaya
- Neraca SCA 301
- Gelas ukur 1 liter dan 100 ml
- Sendok plastik
- Thermocouple APPA 55 II
- Timah merek paragon
- Solder Dekko soldering iron 60 W
- Copper wire Ag coated Kynar wrapping wire
- Resistor dengan nilai hambatan 1 ohm
- Konduktivitimeter
- Pompa merek amara AA-1800
- Spet berukuran 10 ml
- Mikrometer sekrup dengan ketelitian 0,001 mm
- Lembaran karet
- Lem perekat karet
- Baterai
- Thermometer batang
- Alat tulis

Bahan :

- Elektroda aluminium, tembaga dan paduan seng aluminium produksi produksi UPT BPPTK LIPI
- NaCl serbuk produksi UPT BPPTK LIPI, pastikan serbuk NaCl disimpan pada kodisi yang benar-benar kedap udara untuk menjaga serbuk NACl tetap kering.

- Aquades. Hindarkan aquades dari panas untuk mencegah oksigen yang terkandung dalam aquades berkurang.
2. Persiapan surat izin pinjam alat di laboratorium dan surat rekomendasi dari kepala jurusan untuk uji bahan
 3. Penyiapan administrasi lain yang dianggap perlu

Pelaksanaan

1. Penentuan komposisi penyusun permukaan elektroda dengan uji *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) di laboratorium divisi karakterisasi material teknik material dan metallurgi FTI-ITS. Data yang diperoleh dari uji EDS berupa grafik intensitas emisi elektron terhadap energi eksitasi unsur penyusun elemen, persentase berat dan persentase atom unsur penyusun permukaan elektroda.
2. Penentuan komposisi penyusun elektroda dengan uji *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) di laboratorium energi-LPPM ITS. Data yang diperoleh berupa jumlah unsur yang menyusun elektroda dalam ppm.
3. Pengujian mekanisme korosi elektroda terhadap elektrolit dengan uji polarisasi potensiodinamik di laboratorium elektrokimia dan nanoteknologi teknik kimia ITS. Data hasil uji berupa kurva kerapatan arus terhadap potensial yang diaplikasikan saat pengujian dan nilai beberapa parameter korosi seperti *Corrosion current density*, *Corrosion potential*, *Corrosion rate* dan *Polarization resistance*.
4. Penentuan parameter kinetika elektrokimia yang berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti resistansi (R), kapasitansi (C) dan induktansi (L) dengan uji *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) di laboratorium elektrokimia dan nanoteknologi teknik kimia ITS. Data yang diperoleh berupa Plot Nyquist dan *Equivalent circuit model*.
5. Penimbangan serbuk NaCl dengan neraca SCA 301. Pastikan lokasi penimbangan berada di lokasi tertutup supaya angka yang ditunjukkan timbangan tidak berubah-ubah.

6. Pengukuran aquades sebanyak 100 ml dan 1000 ml dengan gelas ukur. Pada saat menakar aquades didalam gelas ukur, mata harus sejajar dengan posisi aquades untuk memastikan apakah angka takaran sudah tepat.
7. Pembuatan elektrolit dengan salinitas 3%, 4% dan 5%. Pelarutan 3 gram NaCl kedalam 100 ml aquades akan didapatkan larutan NaCl dengan salinitas 3%.
8. Pengukuran konduktivitas larutan NaCl di laboratorium manajemen lingkungan dan PPM Teknik Lingkungan ITS.
9. Pengukuran ketebalan elektroda dengan mikrometer sekrup.
10. Pemotongan lembaran pelat elektroda menjadi berukuran panjang 3 cm dan lebar 2 cm.
11. Penimbangan elektroda sebelum dan setelah pengukuran dengan neraca SCA 301.
12. Pembuatan penyangga elektroda didalam kotak sel. Bahan penyangga adalah karet. Penyangga ditempelkan pada dua sisi dinding kotak sel. Dimensi penyangga yaitu panjang 3 cm, lebar 2 cm dan tinggi 0,5 cm. Pada bagian tengah karet diberi dua buat sayatan, sayatan pertama untuk menyangga anoda dan sayatan kedua untuk menyangga katoda. Jarak antar sayatan disesuaikan dengan variabel pengukuran jarak antar elektroda yaitu 0,5 cm dan 2 cm.
13. Pemasangan elektroda didalam kotak sel.
14. Pengguntingan kabel yang panjang menjadi 15 cm, pastikan semua kabel yang digunakan memiliki panjang yang sama untuk menjaga supaya tidak terjadi perubahan resistansi.
15. Pengelupasan sebagian kulit kabel yang berada di ujung-ujung kabel.
16. Pelilitan kabel pada penjepit buaya.
17. Pensolderan sambungan kabel dan penjepit buaya, tujuanya agar kabel dan penjepit buaya benar-benar terhubung.
18. Pembuatan tutup sel sesuai dengan ukuran atap sel.
19. Pelubangan tutup kotak sel sebagai tempat memasukkan kabel dan probe kabel themocouple, ukuran lubang sesuai diameter kabel dan probe kabel.

20. Pembuatan lubang berdiameter 0,5 cm pada tutup kotak sel dan bagian bawah kotak sel sebagai tempat pengaliran elektrolit.
21. Pemasangan penjepit buaya ke elektroda dan pemasukan kabel melewati lubang tutup kotak sel.
22. Pemasangan selang pada bagian atas dan bawah kotak sel melalui lubang berdiameter 0,5 cm.
23. Perekatan selang dengan kotak sel menggunakan lem agar selang tidak lepas saat pengukuran.
24. Pemasangan keran kecil pada selang yang terpasang pada bagian bawah kotak sel.
25. Pemasangan pompa pada bak penadah elektrolit yang keluar dari sel, selanjutnya elektrolit dari bak penadah dialirkan kembali ke bak bagian atas. Bak bagian atas berfungsi menampung elektrolit yang akan mengalir memasuki kotak sel.
26. Menyambungkan selang yang terpasang pada bagian tutup kotak sel dengan bak yang berada diatas.
27. Pemasangan resistor dengan kabel yang terhubung ke terminal sel.
28. Pemasangan dua multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan.
Multimeter pengukur arus dipasang secara seri terhadap kabel sedangkan multimeter pengukur tegangan dipasang secara pararel terhadap terminal sel. Pastikan multimeter yang digunakan dapat bekerja dengan benar dengan cara meleakukan pengukuran resistansi resistor yang sudah diketahui nilai hambatanya, jika angka yang ditunjukkan multimeter sesuai dengan nilai hambatan yang dimiliki resistor artinya multimeter dapat digunakan. Selain pengukuran hambatan, pengukuran voltase juga perlu dilakukan. Pengukuran voltase dapat dilakukan dengan mengukur voltase sebuah baterai yang sebelumnya sudah diketahui nilai tegangannya. Baterai yang digunakan sebaiknya yang baru karena tegangan yang tersimpan masih penuh. Syarat supaya multimeter dapat digunakan yaitu nilai tegangan yang ditunjukkan multimeter harus sama dengan tegangan yang dimiliki baterai.

29. Pemasangan Thermocouple, satu probe kabel dimasukkan melalui lubang pada tutup kotak sel untuk mengukur temperatur didalam sel dan probe kabel lainya dipasang diluar kotak sel untuk mengukur temperatur lingkungan. Pastikan thermocouple dapat bekerja dengan baik dengan membandingkan pengukuran thermocouple digital dengan thermometer batang. Jika angka pengukuran temperatur yang ditunjukkan pada thermocouple digital dan thermometer batang sama, artinya thermometer digital dapat digunakan untuk mengukur.
30. Pemberian lilin pada tutup kotak sel agar tidak terjadi kebocoran yang disebabkan oleh adanya celah pada lubang yang dimasuki kabel, probe kabel thermocouple dan selang.
31. Pengaturan laju elektrolit dengan memutar kran sampai didapatkan laju yang ditentukan.
32. Pemasangan video recorder. Pastikan video recorder berada pada posisi dimana semua alat pengukuran(dua multimeter, thermocouple dan stopwatch) dapat terekam dengan jelas
33. Pencucian kotak sel, gelas ukur dan peralatan lain dengan aquades untuk menjaga supaya pengukuran berikutnya tidak terkontaminasi oleh kandungan garam yang masih menempel pada peralatan. Pastikan setiap kali akan dilakukan pengukuran yang berikutnya, semua peralatan berada pada keadaan bersih.
34. Pastikan tidak ada getaran atau goncangan disekitar kotak sel pada saat pengukuran dengan elektrolit diam didalam sel.
35. Pengukuran dilakukan selama tiga jam tanpa jeda waktu pada masing-masing keadaan.
36. Pencatatan data dan pembuatan grafik dari data hasil pengukuran dengan program exel dan origin.
37. Analisis data pengukuran, data yang bagus ditandai dengan tidak adanya fluktuasi yang besar.

C. Data Pengukuran Sel

Tegangan *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	V _{oc} (mV)	V _{cc} (mV)	Arus (µA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)	Resistansi Internal (Ω)
0	299,9	62,7	611	30,7	30,5	388,2
1	302,3	57,1	558	30,8	30,3	439,4
2	301,6	50,7	495	30,7	30,3	506,9
3	301	46,1	451	30,7	30,3	565,2
4	301,4	43,4	426	30,8	30,4	605,6
5	300,2	41,4	407	30,8	30,4	635,9
10	296,7	35,8	350,8	30,8	30,5	743,7
15	297,5	33,5	326,9	30,7	30,4	807,6
25	297,1	25,5	248,5	30,7	30,4	1093,0
30	293,2	24,4	240,1	30,8	30,5	1119,5
35	294,4	23,3	228,8	30,8	30,5	1184,9
45	296	21,6	210,1	30,8	30,4	1306,0
50	294,7	21,2	207,1	30,7	30,5	1320,6
55	295,3	20,7	203,2	30,9	30,5	1351,4
60	294,5	20,2	198,4	30,7	30,5	1382,6
65	295,5	19,9	196	30,7	30,6	1406,1
70	295	19,8	193,5	30,7	30,5	1422,2
75	295,4	19,8	192,4	30,8	30,6	1432,4
80	293,2	19,5	192,4	30,8	30,6	1422,6
85	289,8	19,1	187,7	30,7	30,6	1442,2
90	284,7	19	186,6	30,7	30,5	1423,9
95	283,3	18,9	185,4	30,9	30,7	1426,1
100	279,5	18,8	185,3	31	30,7	1406,9
105	275,9	18,3	179	30,9	30,7	1439,1
110	270,5	18,5	181	30,9	30,7	1392,3
115	272,2	17,8	174,1	31	30	1461,2
120	271,7	17,7	171,9	31	30,9	1477,6
125	271,8	17,2	168	31	30,7	1515,5
130	269	16,8	163,7	31	30,7	1540,6
135	267,2	16,4	159,6	31,1	30,8	1571,4
140	263,3	16,5	161,5	31,1	30,8	1528,2
145	262,6	16,5	161,5	31,2	30,9	1523,8
150	261,2	15,9	157,5	31,2	30,8	1557,5
155	258,3	15,9	154,8	31,2	30,9	1565,9

Tegangan *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	V _{oc} (mV)	V _{cc} (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)	Resistansi Internal (Ω)
160	253,7	13,9	136,3	31,3	31	1759,4
165	250,7	13,7	132,7	31,3	31	1786,0
170	250,9	13,9	136,6	31,4	31,1	1735,0
175	243,2	13,8	135,4	31,4	31	1694,2
180	247,1	13,8	134,9	31,5	31,1	1729,4

Tegangan *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	V _{oc} (mV)	V _{cc} (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)	Resistansi Internal (Ω)
0	291,7	38	365	32,9	33	695,1
1	288,4	26,9	253	32,9	32	1033,6
2	287,6	22,7	212	32,8	32	1249,5
3	290,3	20,9	196	32,9	32,1	1374,5
4	291,4	20,3	189	33	32,1	1434,4
5	290,3	19,1	177	32,9	32,1	1532,2
10	284,5	16,9	160	33	32,2	1672,5
15	282,5	16	147,6	33,1	32,3	1805,6
25	274,1	15	140,7	33	32,4	1841,5
30	270,8	14,5	135,3	33,1	32,5	1894,3
35	264,3	14,6	135,1	33	32,5	1896,4
45	255,2	15	139,1	33,3	32,6	1792,2
50	252,1	13,7	126,4	33,2	32,6	1910,6
55	249,1	13,1	120	33,2	32,8	2017,5
60	241,9	12,1	118,5	33,4	32,7	2025,3
65	243,1	11,8	108,8	33,4	32,8	2181,1
70	240,8	11,8	108,8	33,3	32,8	2114,9
75	238,4	11,6	106,9	33,4	32,8	2165,6
80	236,9	11,5	106,1	33,5	33	2161,2
85	233,8	11,3	104,2	33,3	32,8	2179,5
90	229,4	10,1	93,1	33,4	32,9	2436,1
95	227,4	10	92,2	33,4	33	2427,3
100	228,2	9,4	86,7	33,5	33	2537,5
105	223,3	9,2	84,8	33,6	33,1	2573,1
110	222,5	9	82,9	33,6	33,1	2644,1
115	224,4	9,1	83,9	33,7	33,1	2553,0
120	223,4	8,7	80,2	33,6	33,1	2665,8
125	225,2	8,6	79,3	33,7	33,1	2721,3
130	227,8	8,6	79,2	33,7	33,1	2712,1
135	226,5	8,4	77,5	33,7	33,2	2797,4
140	222,7	8,5	78,4	33,5	33,2	2797,2
145	223,7	8,3	76,5	33,5	33,2	2852,3
150	221,6	8,2	75,6	33,6	33,1	2837,3
155	220,2	8	73,8	33,6	33,1	2922,8
160	214,4	7,7	70,9	33,4	33,2	3016,9

Tegangan *open circuit* dan *close circuit* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	V _{oc} (mV)	V _{cc} (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)	Resistansi Internal (Ω)
165	217,2	7,8	71,9	33,5	33,2	2954,1
170	214,6	7,7	70,8	33,6	33,2	2919,5
175	211,8	7,6	70	33,5	33,3	2994,3
180	211,9	7,5	69,1	33,4	33,2	2997,1

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)
0	62,7	611	30,7	30,5
1	57,1	558	30,8	30,3
2	50,7	495	30,7	30,3
3	46,1	451	30,7	30,3
4	43,4	426	30,8	30,4
5	41,4	407	30,8	30,4
10	35,8	350,8	30,8	30,5
15	33,5	326,9	30,7	30,4
20	29	286,3	30,8	30,4
25	25,5	248,5	30,7	30,4
30	24,4	240,1	30,8	30,5
35	23,3	228,8	30,8	30,5
40	22	216	30,8	30,4
45	21,6	210,1	30,8	30,4
50	21,2	207,1	30,7	30,5
55	20,7	203,2	30,9	30,5
60	20,2	198,4	30,7	30,5
65	19,9	196	30,7	30,6
70	19,8	193,5	30,7	30,5
75	19,8	192,4	30,8	30,6
80	19,5	192,4	30,8	30,6
85	19,1	187,7	30,7	30,6
90	19	186,6	30,7	30,5
95	18,9	185,4	30,9	30,7
100	18,8	185,3	31	30,7
105	18,3	179	30,9	30,7
110	18,5	181	30,9	30,7
115	17,8	174,1	31	30
120	17,7	171,9	31	30,9
125	17,2	168	31	30,7
130	16,8	163,7	31	30,7
135	16,4	159,6	31,1	30,8
140	16,5	161,5	31,1	30,8
145	16,5	161,5	31,2	30,9
150	15,9	157,5	31,2	30,8
155	15,9	154,8	31,2	30,9

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
160	13,9	136,3	31,3	31
165	13,7	132,7	31,3	31
170	13,9	136,6	31,4	31,1
175	13,8	135,4	31,4	31
180	13,8	134,9	31,5	31,1
Rata-Rata	19,7	192,7		

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	79,2	776	31,2	30,7
1	70,9	693	31,2	30,7
2	56,5	553		
3	47,6	464	31,3	
4	42	413	31,2	30,7
5	38,5	374	31,3	30,8
10	31,7	308,2	31,3	30,7
15	28,5	279	31,4	30,7
20	27,1	265,2	31,3	20,8
25	26,2	259,8	31,4	30,9
30	25,2	248	31,4	30,9
35	24,5	239,9	31,4	30,9
40	24,2	237,1	31,3	30,9
45	23,5	227,4	31,4	30,9
50	22,5	222,8	31,2	30,8
55	22,5	220,6	31,1	30,9
60	22	216,6	31,2	30,5
65	22	217,5	31,3	31
70	21,4	210,1	31,1	31
75	20,6	207	31,3	31
80	20,9	206,5	31,2	31
85	20,3	197,8	31,2	31
90	21	204,4	31,2	30,3
95	20,3	199,9	31,3	31,1
100	20,4	197,7	31,4	31,2
105	19,9	195,2	31,4	31,1
110	19,7	191,2	31,5	31,1
115	18,9	185,5	31,3	31
120	18,4	180,9	31,5	31,1
125	18,2	178	31,5	31,2
130	17,8	173,1	31,3	31,1
135	17	164,7	31,2	31
140	17,2	167,7	31,1	30,9
145	16,6	161,1	31,2	31
150	15,8	155,5	31,3	31
155	15,4	151,1	31,3	31

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
160	15,1	147,9	31,2	31
165	15,6	154,7	31	30,8
170	15,5	151,5	31	30,9
175	16	157,1	30,9	30,7
180	16,8	165,4	30,9	30,8
Rata-Rata	20,5	201,3		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	80,1	784,9	31,7	31,7
1	72	705,5	31,7	31,7
2	65,4	640,9	31,7	31,7
3	50,7	496,7	31,8	31,8
4	43	421,3	31,8	31,8
5	39	382,1	31,8	31,7
10	32,3	308	31,8	31,7
15	30,9	295,3	31,9	31,8
20	30,2	285,2	32	31,8
25	29,3	278,9	32	31,9
30	28,5	268,8	32,1	31,9
35	27,8	263,1	32,2	32
40	27,9	263,3	32,2	32
45	27	253,7	32,1	31,9
50	26,2	245,5	32,2	32
55	25	236,3	32,3	32
60	24	225,2	32,2	32
65	23,9	225,2	32,2	32
70	23,9	225,4	32,2	32
75	24,6	232,2	32,2	32
80	24,8	233,9	32,3	32
85	24,7	232,6	32,2	32
90	24,2	227,7	32,2	32
95	24,2	227,2	32,3	32
100	23,7	221,9	32,3	31,7
105	21,9	205,6	32,4	31,7
110	21,8	203,4	32,4	31,7
115	20,9	196	32,4	31,7
120	19,6	183,9	32,5	31,7
125	19,4	181,1	32,5	31,8
130	18,9	175,3	32,5	31,7
135	18,5	174,1	32,5	31,8
140	18,5	171,9	32,5	31,7
145	18,9	173,5	32,6	31,8
150	17,8	164,9	32,6	31,8
155	17,3	161,9	32,7	31,9

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	17,2	158,1	32,7	31,9
165	17,1	157,5	32,7	31,9
170	17,3	159,7	32,7	32
175	17,2	161,9	32,7	32,1
180	17,5	161,7	32,7	32
Rata-Rata	22,9	215,4		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	38	365	32,9	33
1	26,9	253	32,9	32
2	22,7	212	32,8	32
3	20,9	196	32,9	32,1
4	20,3	189	33	32,1
5	19,1	177	32,9	32,1
10	16,9	160	33	32,2
15	16	147,6	33,1	32,3
20	15,9	149,4	33	32,4
25	15	140,7	33	32,4
30	14,5	135,3	33,1	32,5
35	14,6	135,1	33	32,5
40	14,4	132,2	33,2	32,6
45	15	139,1	33,3	32,6
50	13,7	126,4	33,2	32,6
55	13,1	120	33,2	32,8
60	12,1	118,5	33,4	32,7
65	11,8	108,8	33,4	32,8
70	11,8	108,8	33,3	32,8
75	11,6	106,9	33,4	32,8
80	11,5	106,1	33,5	33
85	11,3	104,2	33,3	32,8
90	10,1	93,1	33,4	32,9
95	10	92,2	33,4	33
100	9,4	86,7	33,5	33
105	9,2	84,8	33,6	33,1
110	9	82,9	33,6	33,1
115	9,1	83,9	33,7	33,1
120	8,7	80,2	33,6	33,1
125	8,6	79,3	33,7	33,1
130	8,6	79,2	33,7	33,1
135	8,4	77,5	33,7	33,2
140	8,5	78,4	33,5	33,2
145	8,3	76,5	33,5	33,2
150	8,2	75,6	33,6	33,1
155	8	73,8	33,6	33,1

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	7,7	70,9	33,4	33,2
165	7,8	71,9	33,5	33,2
170	7,7	70,8	33,6	33,2
175	7,6	70	33,5	33,3
180	7,5	69,1	33,4	33,2
Rata-Rata	10,9	101,0		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	71,9	731	32,8	31,9
1	57,8	586	33,7	31,1
2	49	480	33,9	31,7
3	46	444	33,3	31,1
4	42,6	416	33,1	31,2
5	40	395	32,1	31,5
10	33,5	327,4	32,7	31,2
15	26,6	258,3	32,9	30,9
22	24,1	233,9	31,8	31,5
25	23	224,5	32,6	31,1
30	22,4	215,3	32,4	31,5
35	21	205,4	32,3	31,9
40	18,6	180,1	31,8	31,4
45	17,6	169,7	32,3	31,7
50	16,9	164	32,5	31,7
55	16,5	159,8	32,7	31,4
60	15,6	151,2	32,6	31,5
68	14,6	143,8	31,2	31,5
70	14,5	139,8	30,9	31,5
75	14,6	141,6	31,7	31,5
80	13,6	133,6	31,7	31,4
85	13,3	127,5	31,7	31,5
92	12,5	121	31,7	31,6
95	12,2	117,3	31,5	31,7
100	13,1	126,6	31,5	31,7
105	12,8	124,5	31,5	31,7
110	12,5	120,3	31,7	31,7
115	12,3	119,1	31,6	31,7
120	13,1	125,1	31,5	31,5
125	12,8	123,1	31,5	31,6
130	12,5	120	31,6	31,6
139	14,4	139,4	31,7	31,6
140	14,1	135,5	31,7	31,5
145	13,3	127,4	31,8	31,4
150	13	125	31,9	31,5
155	13,2	125,4	31,8	31,4

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	12,2	117,2	31,7	31,3
165	11,4	108,5	31,6	31,4
180	11,4	108	31,5	31,7
Rata-Rata	15,9	153,3		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	81,6	801	33,3	31,7
1	73,8	722	33,3	31,7
2	65,8	641	33,3	31,7
3	61,2	598	33,3	31,8
4	58,2	571	33,3	31,8
5	55,5	540	33,3	31,8
10	43,9	428	33,3	32
15	36,9	363	33,4	32,1
20	33,4	325,2	33,3	32,2
30	30,7	298,8	33,4	32,5
35	26,2	258,4	33,4	32,5
40	25,5	250,5	33,4	32,5
45	23,5	233,8	33,4	32,5
50	22,7	222,8	33,5	32,7
55	22,7	223,4	33,4	32,7
60	22,5	220,9	33,4	32,8
65	21,9	214,6	33,3	32,8
70	20,9	205,5	33,4	32,8
75	20,3	200,3	33,2	32,8
80	19,6	192,2	33,3	32,9
85	19,1	187,2	33,3	32,9
90	18,4	180,5	33,2	32,8
95	17,8	175,2	33,2	32,9
100	17,5	171,9	33,1	32,8
105	16,8	164,8	33,1	32,9
110	16,4	160,1	33,1	33
115	15,8	157,2	33,1	32,9
120	15,6	154,6	33,2	32,9
125	15,5	150,6	33,1	32,8
130	15,3	148,6	33,2	32,9
135	15,3	150,4	33,2	32,9
140	15,1	149,3	33,1	32,9
145	15,1	149,5	33,2	33
150	15	143,1	33,2	32,9
155	14,3	141,8	33,2	32,9
160	13,6	133,3	33,2	32,9

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
165	14,2	139	33,2	32,9
170	13,5	131,7	33,2	32,9
175	13,7	133,7	33,1	33
180	13	127,7	33,1	33
Rata-Rata	20,1	196,7		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	79,7	780	30	29,6
1	77,5	757	30,4	29,8
2	73,9	720	30,3	29,6
3	67,8	663	30,4	29,7
4	64,6	632	30,4	29,8
5	61,9	605	30,4	29,8
10	49,9	488	30,3	29,7
17	39,2	383	30,3	39,9
20	36,7	360,1	30,4	29,7
25	33,3	326,1	30,5	29,7
30	29,7	291,1	30,5	29,7
35	27,2	266,6	30,5	29,9
40	25,4	248,7	30,5	29,9
45	24,6	240,7	30,5	29,8
50	23,7	232,6	30,6	29,9
55	23,1	226,2	30,7	29,8
60	23	225,6	30,7	29,9
65	23,1	228,6	30,8	30,1
70	22,4	219,6	30,8	30
75	22	215,6	31	30
80	21,7	212,7	31,1	30
85	21,7	212,2	31	30,2
90	21,8	213,8	31,1	30,1
95	21,5	210,5	31,1	30,1
100	21,1	206,4	31,2	30,2
105	21,1	206,4	31,2	30,2
110	20,4	200,1	31,3	30,3
115	20	195,6	31,3	30,4
120	20,1	196,4	31,3	30,4
125	20,3	199	31,5	30,5
130	20,2	198	31,3	30,4
135	20	195,8	31,4	30,4
140	19,2	188,2	31,6	30,6
145	19,2	188,2	31,5	30,6
150	18,7	183,5	31,7	30,7
155	18,7	183,5	31,7	30,6

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	19	186	31,7	30,7
165	19	186	31,7	30,6
170	18,8	184,2	31,8	30,7
175	18,6	182,6	31,8	30,6
180	18,5	183	31,8	30,6
Rata-Rata	23,5	230,4		

Data discharge sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	91,9	900	30,7	30,6
1	86,4	845	30,7	30,6
2	75,4	738	30,6	30,5
3	67,3	658	30,7	30,5
4	61,2	599	30,7	30,6
5	56,5	553	30,6	30,6
10	43,2	422	30,8	30,7
15	37,7	369	30,8	30,6
20	34,8	341	30,8	30,6
25	33,4	327,8	30,8	30,6
30	32,2	315,7	30,8	30,6
35	31	303,8	30,9	30,7
40	30	294,3	30,9	30,7
45	29	284	30,8	30,6
50	28,5	279	30,8	
55	28,3	277,5	30,9	30,7
60	27,9	272,9	30,9	30,6
65	26,7	261,6	31	30,7
70	26,5	259,1	31	30,7
75	25,9	253,2	31	30,8
80	25,6	250,4	31	30,7
85	24,9	244,3	31,1	30,8
90	25,1	245,5	31,1	30,7
95	24,6	241	31,1	30,7
100	23,9	234,2	31,1	30,9
105	23,4	229,4	31,1	30,9
110	22,9	224	31,1	30,8
115	22,4	219,7	31	30,8
120	21,5	211,1	31	30,6
125	21,5	210,1	31	30,6
130	21	206,2	30,9	30,6
135	20,6	201,9	30,9	30,5
140	20	195,5	30,8	30,5
145	20,4	200,1	30,8	30,5
150	20,2	198	30,8	30,1
155	20	195,9	30,8	30,3

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	19,8	193,4	30,8	30,3
165	19,5	190,6	30,8	30,2
170	19,6	192,5	30,7	30,4
175	19,3	189,3	30,7	30,8
180	19,2	188,2	30,6	30,6
Rata-Rata	25,4	249,2		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	88,8	869	28,9	30
1	85,1	831	28,9	29,9
2	70,7	770	29	30
3	74,8	732	29,1	29,9
4	70,5	688	29,2	29,9
5	67,7	662	29,2	29,8
10	55,8	545	29	30
15	48	470	29	30
20	43	420	29	30
25	39,2	383	29,2	30
35	34,4	336,8	29	30,1
40	32,9	322,3	28,7	30,1
45	31,9	312,4	29	29,9
50	31,4	307,6	28,9	29,9
55	30,8	302,1	28,7	29,8
60	29,8	292,3	28,9	29,7
65	28,8	282,6	28,6	29,7
70	28,1	281,3	28,3	29,6
75	28,5	279,5	28,5	29,6
80	30,7	301	28,3	29,5
85	31	303,9	28,5	29,4
90	30,1	294,5	28,2	29,4
95	30,1	294,9	28,4	29,5
125	30,1	294,5	29,2	29,8
130	27,2	266,4	29,5	30,1
135	25,8	252,7	29,4	30,1
140	25	245,2	29,5	30,1
145	24,6	241,4	29,5	30,1
150	24,3	238,1	29,6	30,2
155	24,5	240,2	29,7	30,3
160	24,6	241,4	29,6	30,2
165	24,5	240,5	29,6	30,2
170	24,5	240,2	29,6	30,3
175	23,4	228,9	29,7	30,2
180	23	225,2	29,6	30,2
Rata-Rata	30,6	299,5		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%
 Jarak anoda-katoda = 2 cm
 Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	93,5	915,41	31,5	31,4
1	89,9	880	31,6	31,5
2	82,8	810	31,6	31,5
3	77,8	760	31,6	31,5
4	72,5	709	31,8	31,5
5	68	664	31,8	31,5
12	50,9	497	31,8	31,4
15	43,7	427	31,8	31,4
23	31,2	305	31,9	31,4
25	29,5	288	31,9	31,4
30	26,9	263	32	31,5
35	25,7	251	32	31,4
40	24,4	239	31,9	31,5
45	23,2	227	31,8	31,5
50	22,1	216	31,7	31,4
55	21,4	209	31,9	31,4
60	20,9	204	31,7	31,5
65	20,7	202	31,8	31,5
70	20,5	200	31,7	31,5
75	20,5	200	31,8	31,6
80	20,8	203	31,8	31,5
85	20,6	201	31,9	31,5
90	20,5	200	31,7	31,6
95	20,3	199	31,8	31,6
100	19,9	194	31,8	31,6
105	19,5	191	31,8	31,6
110	19,3	189	31,8	31,7
115	19,1	186	31,9	31,6
120	19,1	185	31,9	31,8
125	19	184	31,7	31,6
130	18,9	181	31,8	31,5
135	18,5	178	31,7	31,6
140	18	176	31,8	31,6
145	17,7	173	31,6	31,6
150	17,3	169	31,8	31,6
155	17	166	31,7	31,6

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	16,7	163	31,7	31,6
165	16,4	160	31,7	31,7
170	16,3	159	31,6	31,6
175	16,2	158	31,7	31,6
180	17,2	168,6	31,4	31,6
Rata-Rata	21,9	214,6		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	92,8	910	29,1	29,2
1	86,8	850	29,3	29,5
2	79,2	775	29,3	29,7
3	74,1	724	29,7	29,5
4	68,7	670	29,5	29,6
5	65,3	637,5	29,4	29,7
10	50	490	29,5	29,7
18	33,9	332	29,5	29,7
20	32,3	316	29,4	29,6
25	30,1	295	29,4	29,8
30	28,3	278	29,6	29,9
35	27,6	270	29,5	29,9
40	26,5	260	29,4	29,9
45	25,6	251	29,6	29,9
50	25,4	250,3	29,6	29,9
55	25,6	256,4	29,5	30
62	26,2	247,8	29,5	30
67	25,3	237,6	29,6	29,6
70	24,2	234,1	29,5	30
75	23,9	230,5	29,5	29,9
80	23,5	231,7	29,4	2,99
85	23,6	226,2	29,5	29,9
90	23,1	228,7	29,6	30
95	23,3	227,7	29,6	30
103	23,2	224,6	29,6	30
105	22,9	221,4	29,6	30,1
110	22,6	217,8	29,5	30
115	22,2	216,4	29,5	30
120	22,1	210,3	29,5	30
125	21,5	210,2	29,6	30,1
130	21,5	205,2	29,5	30,2
135	20,9	199,2	29,4	29,9
140	20,3	196,9	29,3	29,9
145	20,1	196,9	29,3	29,8
150	20,1	192,1	29,4	29,7
155	19,6	190,3	29,5	29,7

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
160	19,4	191,4	29,4	29,7
165	19,5	189,1	29,4	28,7
170	19,3	190,6	29,4	29,7
175	19,5	188,5	29,4	29,7
180	19,2	188,5	29,5	29,6
Rata-Rata	24,4	236,9		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	93,2	912	30,9	30,3
1	84,9	832	30,9	30,2
2	76,3	747	30,9	30,2
3	70,4	688	30,9	30,1
4	65,9	645	30,8	30,3
5	62,5	611	30,8	30,2
10	50,4	493	30,9	30,3
20	36,6	358,6	31	30,4
25	33,4	327,8	31	30,3
30	31,2	306,2	31	30,5
35	30,1	294,5	31	30,4
40	29,3	287,3	31	30,4
45	28,9	283,3	31	30,4
50	28,2	276,6	31,1	30,4
55	28,2	276,7	31	30,4
60	28	274,4	31	30,4
65	27,9	273,3	31,1	30,5
70	28,2	276,4	31	30,4
75	27,7	271,1	31,1	30,5
80	27,3	267,2	31	30,5
85	26,4	258,6	31	30,5
90	25,5	249,7	31	30,6
95	24,5	240,3	31	30,5
100	24,2	237,2	31	30,5
111	24	235,1	31,1	30,5
115	23,7	234,3	31,1	30,5
121	23,5	230,5	31,1	30,7
125	23,2	227,1	31,1	30,6
130	22,9	224,3	31,1	30,7
135	22,8	223,1	31,1	30,6
140	22,5	220,4	31,2	30,8
146	22,3	218,7	31,2	30,8
150	22,2	217,4	31,3	30,8
156	22,2	217,9	31,2	30,7
160	22,2	218,1	31,1	30,7
170	22,2	217,2	31,2	30,8

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
175	22	216,1	31,1	30,7
180	21,7	212,9	31,1	30,7
Rata-Rata	26,7	261,4		

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	81,5	794	29,4	30
1	72,8	717	29,3	29,3
2	39,4	382	29,3	30
3	37,4	364	29,4	30
4	35,9	352,2	29,4	30,1
5	34,9	342,4	29,4	30,1
10	31,6	311,3	29,5	30,1
20	29,3	286,3	29,7	30,2
30	28,1	275,1	29,5	30,1
40	27,2	267,1	29,3	30
50	27,9	272,9	29,4	30
60	27,7	270,3	29,2	29,9
70	28	275	29,2	29,9
80	27,8	272,6	29,1	30
90	27,7	270,1	29	30
100	27,9	272,9	29	29,8
110	28,1	276	29	29,9
120	28,2	276	29	30
130	28,1	275	28,9	30,1
140	28	275	29	30
150	28,1	275	29,1	29,9
160	27,9	274,8	29	30
170	28	275	28,8	30
180	28,3	276	28,9	30
Rata-Rata	27,9	273,7		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	94	914	28,5	29,4
1	86,8	851	28,3	30
2	59,3	579	28,4	30
3	54,3	528	28,4	30
4	50,2	492	28,4	27,6
5	47,7	466	28,5	30
10	40,4	396	28,6	28,2
20	38,3	376	28,5	28,2
30	37	365	28,4	28,1
40	37,2	366	28,4	28
50	37,1	365	28,3	28
60	37	365	28,2	28
70	36,8	364,9	28,2	28,3
80	37	365	28	28,4
90	37,2	366,1	28,3	28,4
100	37,1	366	28,3	28,3
110	37	365	28,2	28,3
120	37,4	367	28	28,2
130	37,2	366	28	28,2
140	37,1	366	28	28
150	37,1	365	28,1	28
160	37	365	28,2	28
170	37	365	28,3	28,1
180	37	365	28,3	28
Rata-Rata	37,1	365,4		

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	95,2	927,7	30	29
1	85	839,3	30	29
2	63,4	619	29,9	29
3	53,6	510	29,7	29
4	52,1	508	29,6	29
5	50,9	494	29,7	29,2
10	47,9	466	29,5	29,2
20	44	429	29,2	29,3
30	41,8	409	28,9	29,6
40	40,1	398	29,2	28,4
50	40,2	400	29	28,3
60	40	396	29	28,4
70	39,8	397	29,1	28,4
80	39,9	397	29,1	28,5
90	40,1	397	29	28,6
100	40,2	400	29	28,5
110	40	396	29,2	28,4
120	40	396	29	28,3
130	40,3	401	28,9	28,3
140	40,4	402	29	28,3
150	40	397	29	28,3
160	39,8	397	29	28,2
170	39,9	398	29	28,2
180	40	397	29	28,2
Rata-Rata	40,2	398,6		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	46,3	452	30,7	30,5
1	45,6	445	30,2	30,3
2	43,9	428	30,6	30,9
3	42	412	30,8	30,5
4	41,2	404	31	30,2
5	40,6	396	30,5	30
10	40,2	392	31	30,4
20	39,4	385	30,7	30,8
30	38,2	373	30,7	30,6
40	38	372	30,6	30,6
50	38,1	372,8	30,7	30,5
60	37,9	371	30,6	30,7
70	38,1	372,9	30,5	30,5
80	38	372	30,5	30,4
90	38,2	373	30,4	30,5
100	38	372,1	30,3	30,5
110	38,1	372,8	30,5	30,6
120	38,3	373,5	30,5	30,8
130	38,2	373,2	30,4	30,4
140	38	372,2	30,3	30
150	37,8	370,1	30,1	30
160	37,7	369	30	30,9
170	37,7	369,1	30	30,2
180	37,9	371,2	30,1	30,2
Rata-Rata	38,0	371,9		

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp Sel ($^{\circ}$ C)
0	71,5	699	27,8	28,4
1	72,8	713	27,8	26,6
2	62,1	606	27,6	28,3
3	54	527	27,6	28,1
4	48,5	474	27,2	28,1
5	45,4	441	27,3	27,5
10	38,9	381	27,4	26,1
20	39,4	387	27,4	26,7
30	39	382	27,4	27,6
40	40,9	400	27,6	27,4
50	41,1	402	27,6	26,7
60	40,7	400	27,6	26,3
70	40,9	401	27,6	28,4
80	40,3	396	27,7	27,2
90	40,6	397	27,7	27,5
100	40,2	394	27,6	26,3
110	40,1	393	27,6	28,5
120	40,1	392	27,5	26,3
130	40,4	394	27,6	26,3
140	39,8	390	27,6	28,6
150	40,3	391	27,5	27,3
160	39,6	389	27,5	26,7
170	40,1	389	27,5	28
180	39,7	389	27,5	26,3
Rata-Rata	40,2	393,7		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	85,4	837	29,2	30
1	77,2	757	29	29,6
2	60	589	29,1	29,5
3	57	560	29	29,3
4	55	541	28,5	29,7
5	52,9	520	28,3	29,9
10	48	470	28	29,5
20	44,7	437	28,2	29,4
30	44,9	441,5	28,1	29,4
40	44,8	440	28	29,1
50	44,9	441	28	29,2
60	44,9	441,5	28,3	29,4
70	45	440,2	28,8	29,3
80	45,1	440,3	28,5	29,2
90	44,8	437	28,4	29,1
100	45	440	28,1	29
110	45,2	440,4	28	29
120	45	440	28	29,3
130	45,1	440,3	28,3	29
140	45,3	440,4	28	29,2
150	45	440	28,1	29
160	45,2	440,3	28	29,1
170	45,1	440,2	28	29,4
180	45	440	28	29
Rata-Rata	45	440,2		

Data *discharge* sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%
 Jarak anoda-katoda = 2 cm
 Laju elektrolit = 5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	83,2	820	29,5	29,8
1	81	791	29,4	28,1
2	80,7	791	29,5	28,8
3	79,7	776	29,7	31,1
4	78,5	771	29,6	29,7
5	77,2	755	29,5	30,2
10	76,2	745	29,7	30,6
20	74,8	732	29,6	29,4
30	73,1	713	29,6	30,7
40	74,8	728	29,7	29,6
50	74,5	731	29,6	30,6
60	74,7	731	29,6	29,9
70	75,1	734	29,7	29,7
80	74,9	734	29,5	29,8
90	74,5	727	29,6	30,6
100	74,3	726	29,7	30,3
110	74,8	727	29,7	30,1
120	75	734	29,6	30,5
130	74,7	732	29,6	30,5
140	75,1	732	29,6	28,7
150	75,3	737	29,7	30
160	75,6	736	29,6	28,7
170	75	734	29,6	30,8
180	75	738	29,5	29,2
Rata-Rata	74,8	730,9		

Data discharge sel Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 10 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	128,9	1266	29,2	30,4
1	125,3	1229	29,2	29,5
2	124,5	1216	29,1	29,3
3	122,9	1198	29,2	29,5
4	122,1	1196	29,2	29,4
5	122,5	1192	29,2	29,4
10	121,4	1181	29,7	29,9
20	120,2	1173	29,2	29,5
30	121,6	1191	29,2	29,4
40	121,5	1190	29,2	29,6
50	121,4	1199	29,5	29,1
60	122	1190	29,7	30,2
70	121,3	1194	29,6	28,8
80	120	1179	29,7	30,8
90	121,1	1181	29,6	29,7
100	120,3	1171	29,6	28,8
110	120,5	1173	29,6	28,9
120	121,5	1193	29,5	29,4
130	121,2	1200	29,4	28,8
140	121,3	1187	29,6	29,5
150	120	1172	29,6	29,8
160	120,3	1175	29,6	28,7
170	120,7	1179	29,7	29,7
180	121,6	1197	29,6	28,7
Rata-Rata	1185,7	1185,7		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	85,3	835	30,1	30
1	73,9	722	30,1	30
2	65,5	639	29,8	29,8
3	62,3	608	30	30,3
4	59,8	583	29,9	30,3
5	57,6	563	29,9	30,1
17	44,8	437	30,1	29,2
20	43,8	427	29,6	29
25	41,8	407	30	29,1
30	40,1	391	29,5	28,7
40	39,1	382	29,2	28,8
50	37,9	370	29,2	28,1
60	37,2	363,9	29,5	27,8
70	37	362	29,4	27,5
80	37,4	366	29,3	28
90	37,1	361,7	29,3	28,3
100	37	360,2	29,1	28,4
110	37,2	362,8	29	28,5
120	36,9	360,7	29	28
130	37	362,1	29,6	28,1
140	37,5	366	29	28,1
150	37,1	361,5	29,2	28,8
160	37,3	362,9	29,1	28,9
170	37	360	29	29
180	37	361	29	29
Rata-Rata	37,5	365,9		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	74,9	733	28,1	30,2
1	69,5	680	28,3	29,1
2	63,1	617	28,3	28,9
3	59,9	585	28,2	30,5
4	56,4	552	28,5	31
5	54,1	529	28,4	30,1
10	46,3	451	28,4	28,1
20	39,6	387	28,3	29,2
30	39	381,6	28,3	29,3
40	39,9	390,4	28,2	29,1
50	39,7	388,2	28,1	29,1
60	39,5	386,2	28	29,2
70	39,6	387	28	29,3
80	39,2	383	28,7	29
90	39	381,5	28,8	29,5
100	39,5	386	29	29
110	39,4	386,1	28,5	29,1
120	39,8	390	28	28,8
130	39,9	390,4	28,1	28,7
140	40	391	28	28,5
150	39,7	388,4	28,3	29
160	39,5	386,1	28,2	29
170	39,5	386	28,4	29,2
180	39,6	387,4	28,1	29
Rata-Rata	39,56	386,8		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 0,5 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	80,9	790	28,6	30
1	76,7	748	28,6	30
2	66,7	651	28,5	29,9
3	61,7	602	28,5	29,3
4	58,4	569	28,5	29,5
5	55,7	543	28,8	29,6
10	45,4	442	28,4	29,2
20	41,5	404	28,2	28,9
30	40,5	395	28,2	28,2
40	41	399,1	28,1	27,8
50	41,2	401,8	28,4	28,3
60	42	409,2	28,1	27,8
70	41,5	402	28	28
80	41,2	401,8	28,4	28,4
90	41,4	401,9	28,3	28,2
100	41,8	407,3	28	28,1
110	41,7	407	28	28
120	41,3	401,9	28,2	28,1
130	41	399	28,6	28,1
140	41	399,1	28,5	28,3
150	40,8	398,1	28,1	28,6
160	41	399	28	28,5
170	41,2	401,8	28	28,2
180	41,3	401,7	28,2	28
Rata-Rata	41,2	401,6		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)
0	116	1134	31	31,2
1	114	1115	31	31,2
2	112,6	1100	30,9	31,2
3	110,4	1079	31	31,3
4	108,2	1058	30,9	31,3
5	106,8	1044	30,9	31,3
10	95	929	30,9	31,2
20	80	781,5	31	31,2
30	73	713,9	31	31,2
40	69	674	30,9	31,1
50	67	655	31	31,1
60	66,8	652	31	31,2
70	67	654,9	30,9	31,2
80	67,4	658,6	30,7	31
90	67,5	660	31	31
100	67,1	655,7	30,8	31
110	66,8	652	30,7	31,2
120	66,9	653	30,9	31,1
130	66,5	649	31	31
140	66,7	651	31	31,1
150	66,9	653,1	30,9	31,1
160	67	655	30,9	31
170	67,1	655,5	31	31,2
180	66,9	653	31	31,1
Rata-Rata	67,5	659,1		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 4%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	138,7	1363	29,1	29,3
1	124,9	1214	29	28,9
2	113,2	1108	29,1	29
3	108,3	1060	29	29
4	102,6	1004	28,9	29
5	98,9	968	28,8	28,9
10	85,9	840	28,7	28,9
20	70	684	28,9	28,9
30	69,6	681	28,8	28,9
40	70,8	692	28,9	28,9
50	70,6	691	28,9	28,9
60	70,2	687	28,9	28,9
70	70	685	28,9	28,9
80	69,9	683	28,9	28,9
90	69,5	680	28,8	28,9
100	68,2	667	28,8	28,9
110	68	665	28,8	28,9
120	68,7	672	28,9	28,9
130	68,6	671	28,8	28,9
140	68,3	663	28,9	28,9
150	67,6	661	28,8	28,9
160	68,1	663	28,9	28,9
170	69,4	672	28,9	28,9
180	71	697	28,9	28,9
Rata-Rata	69,3	676,9		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 5%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 0,5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)
0	139,7	1371	30,4	30,1
1	106,9	1045	30,6	30,1
2	87,4	853	30,9	30,1
3	82	800,4	30,6	30,4
4	80	780,7	30,6	30,7
5	79,9	780	30,7	30,6
10	76,3	744	30,7	30,7
20	73,7	719	30,9	30,5
30	73,9	721,1	30,8	30,6
40	73,5	717,4	30,7	30,5
50	73,2	714,5	30,6	30,4
60	73	713	30,2	30
70	73,5	717,3	30,1	30
80	74	721,6	30	30,1
90	74,1	721,8	30	30,1
100	73,8	721	30,3	30,3
110	73,6	717,5	30,4	30,1
120	74	721,6	30,7	30,4
130	73,9	721,2	30,6	30
140	73	713	30,4	30,1
150	73,7	719	30,1	30
160	73,5	717,3	30,1	30
170	73,2	714,4	30,1	30
180	73	713	30	30
Rata-Rata	73,6	717,8		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

Laju elektrolit = 5 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μ A)	Temp. Lingkungan ($^{\circ}$ C)	Temp. Sel ($^{\circ}$ C)
0	116,7	1149	28,5	28
1	114	111,2	28,6	28,5
2	105,3	1029	28,6	30,4
3	103,2	1014	28,7	31
4	105	1024	28,6	31
5	103,2	1011	28,5	29,4
10	102,1	1000	28,4	28,7
20	93,8	917	28,4	28,3
30	86,5	846	28,5	29,5
40	86,9	851	28,6	30,6
50	86,3	850	28,5	31
60	86,8	848	28,6	28,8
70	85,7	839	28,6	30
80	85,9	840	28,5	28,7
90	86,1	841	28,6	30,4
100	86,2	841	28,6	30,5
110	85,9	839	28,4	28,5
120	85,5	838	28,6	31
130	86	841	28,6	30,9
140	86,6	852	28,6	29,2
150	86	845	28,4	29,1
160	86,8	845	28,6	31
170	86,5	839	28,5	29,9
180	85,9	841	28,5	30,9
Rata-Rata	86,225	843,5		

Data *discharge* sel Zn/Al-Cu

Salinitas elektrolit = 3%

Jarak anoda-katoda = 2 cm

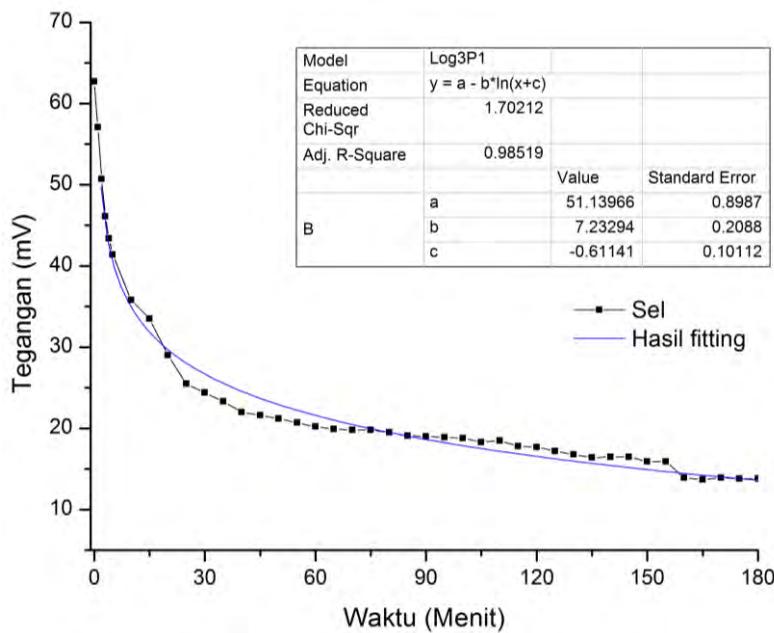
Laju elektrolit = 10 liter/jam

Waktu (Menit)	Tegangan (mV)	Arus (μA)	Temp. Lingkungan (°C)	Temp. Sel (°C)
0	187	1842	29,1	29,5
1	158,2	1561	29	29,5
2	148	1443	29,1	29,4
3	140,9	1376	29	29,5
4	137,9	1345	29	29,5
5	135,9	1332	29	29,5
10	135,7	1316	29	29,6
20	129,4	126,6	28,7	29,5
30	144,7	1412	28,7	29,5
40	135,3	1322	28,6	27,8
50	136,7	1340	28,7	28,1
60	134,4	1323	28,8	30,4
70	134,9	1309	28,7	28,3
80	135,6	1341	28,5	29,4
90	134,7	1307	28,8	31,2
100	134,5	1322	28,6	30,7
110	134,6	133,5	28,6	30,6
120	133,8	1319	28,6	27,6
130	134,4	1318	28,6	29,3
140	135,2	1325	28,6	31
150	135,6	1343	28,6	29,3
160	135,4	1327	28,6	28,7
170	135,2	1334	28,5	28,2
180	134,6	1318	28,6	30,8
Rata-Rata	135,6	1255,844		

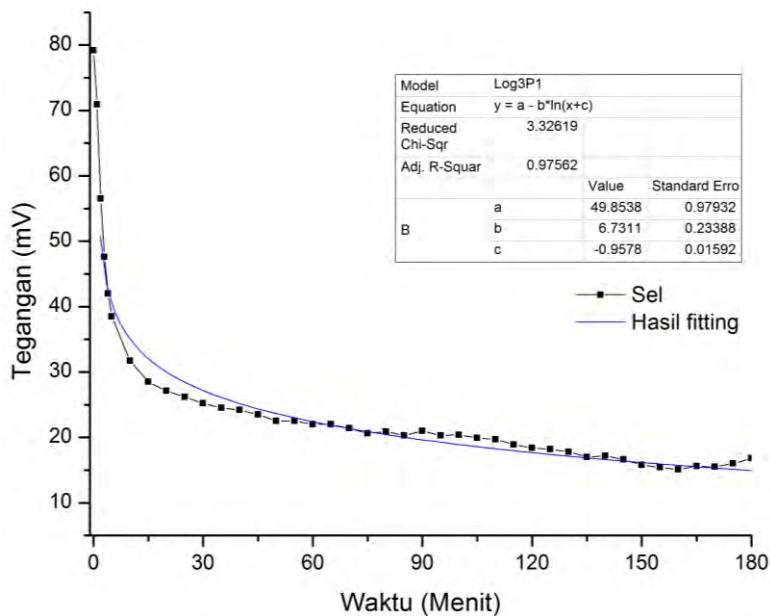
D. Data Tegangan dan Arus Rata-Rata Sel Selama *Discharge* Tiga Jam

No	Sel	Laju Elektrolit (liter/jam)	Jarak Antar elektroda (cm)	Salinitas Elektrolit (%)	Tegangan Rata-Rata Sel (mV)	Arus Rata-Rata Sel (μ A)
1	Al-Cu	0	0,5	3	19,67	192,69
2				4	20,53	201,32
3				5	22,94	215,43
4			2	3	10,90	101,03
5				4	15,85	153,31
6				5	20,05	196,69
7			0,5	3	27,94	273,68
8				4	37,08	365,44
9				5	40,16	398,63
10			0,5	3	38,01	371,87
11				4	40,24	393,69
12				5	45,02	440,19
13	Zn/Al-Cu	0	0,5	3	23,51	230,42
14				4	25,44	249,21
15				5	30,55	299,45
16			2	3	21,99	214,62
17				4	24,35	236,93
18				5	26,67	261,42
19			0,5	3	37,488	365,86
20				4	39,55	366,83
21				5	41,24	401,61
22			0,5	3	67,48	659,11
23				4	69,28	676,88
24				5	73,56	717,79
25	Al-Cu	0	0,5	X	14,51	142,09
26	Zn/Al-Cu	0	0,5	X	23,89	233,97

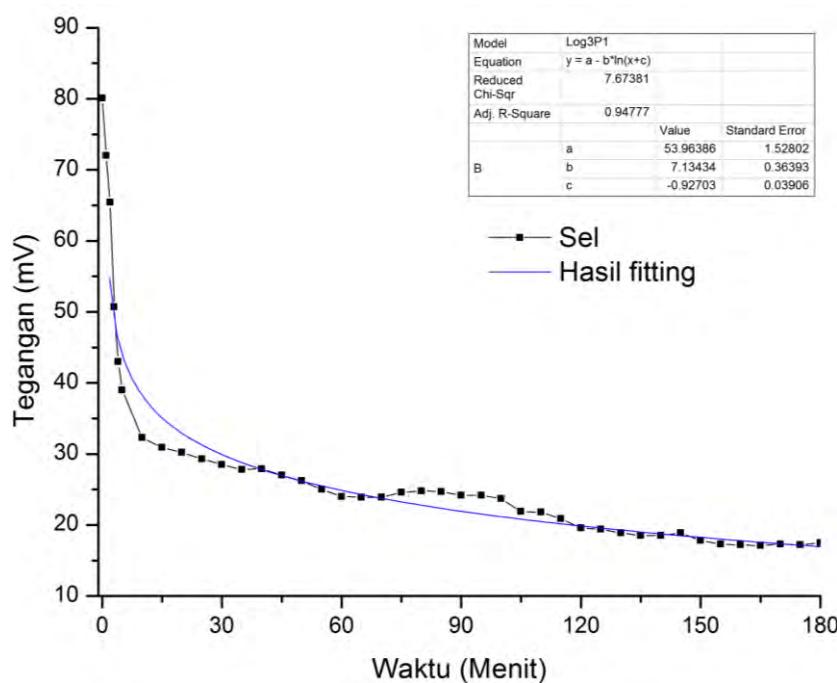
E. Gambar Fitiing Grafik Discharge Sel Al-Cu dan Zn/Al-Cu pada Elektrolit Diam didalam Sel.



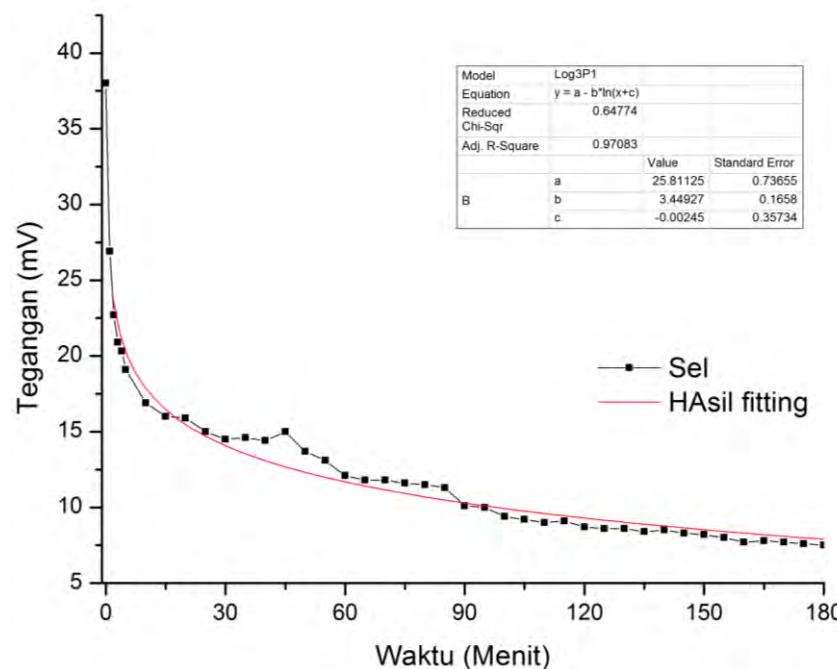
Gambar E.1 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam



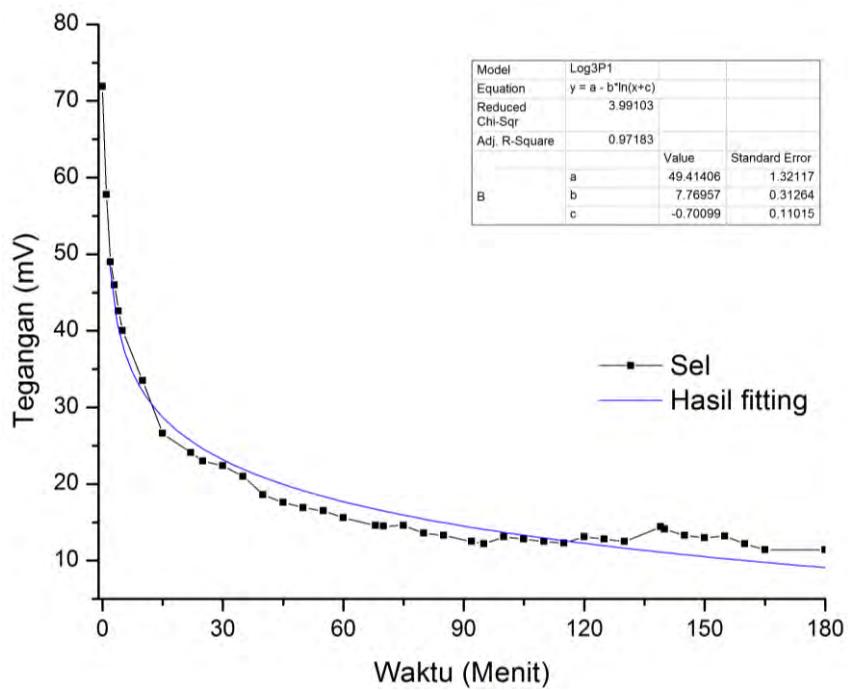
Gambar E.2 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 4 %, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



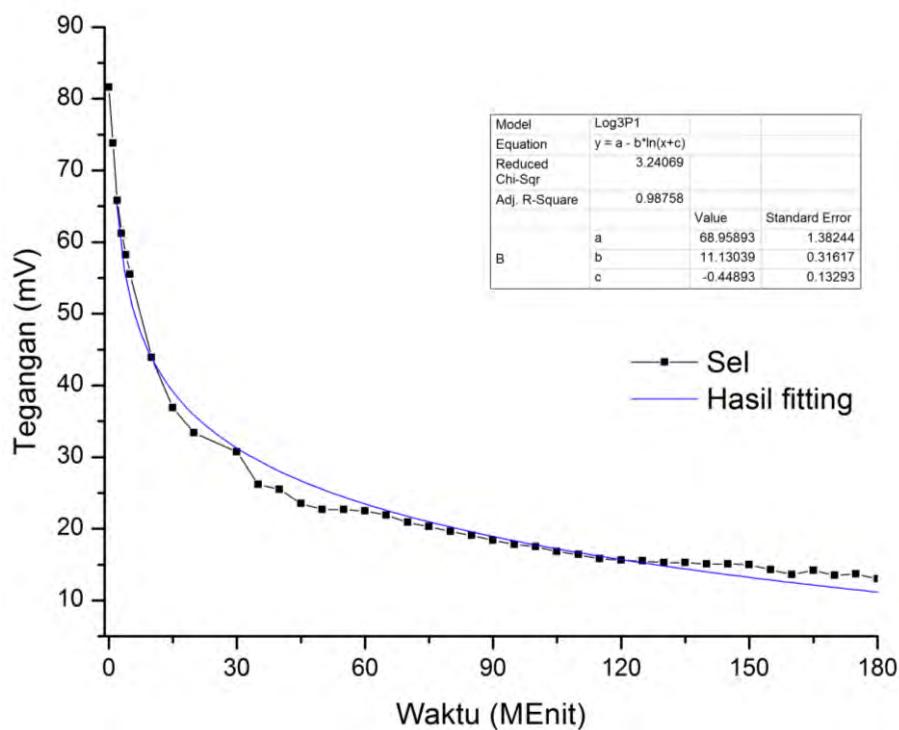
Gambar E.3 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 5 %, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



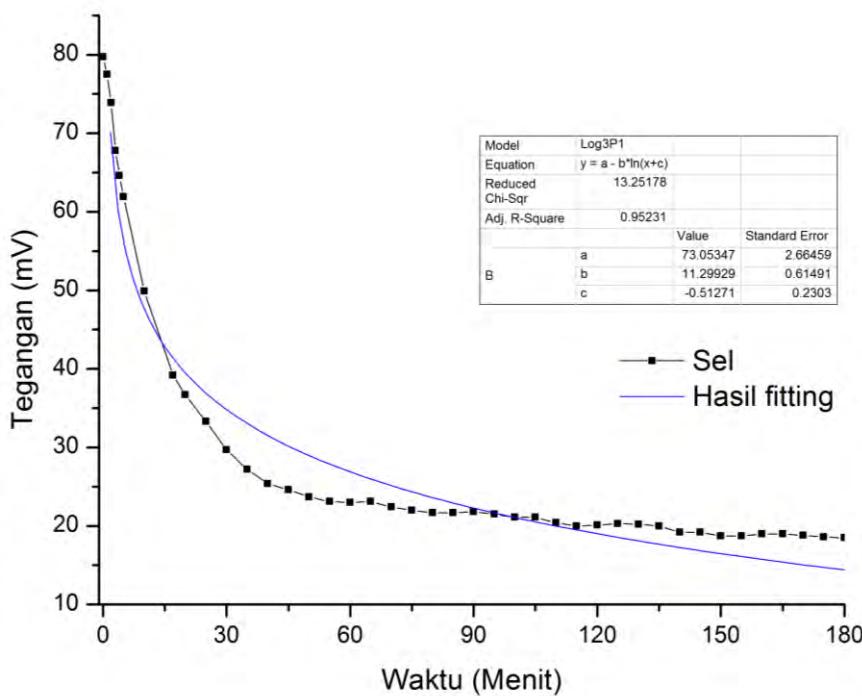
Gambar E.4 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 3 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



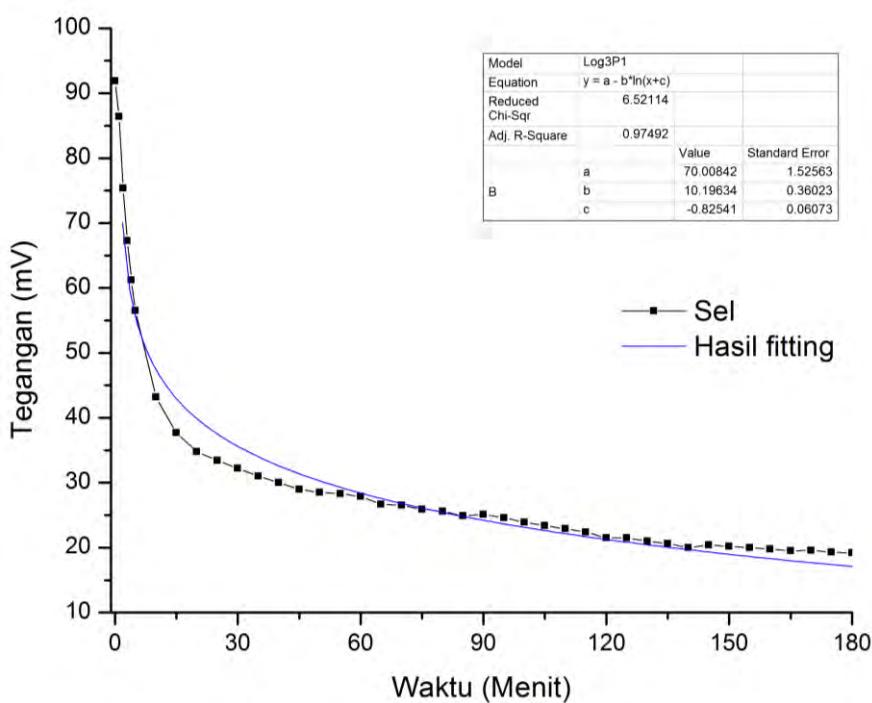
Gambar E.5 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 4 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



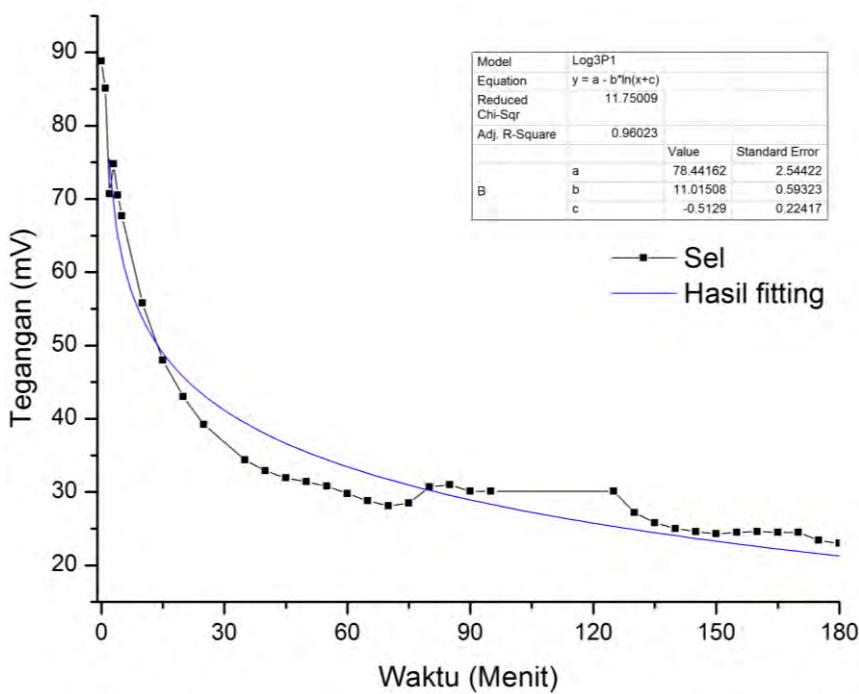
Gambar E.6 Fitiing grafik discharge sel Al-Cu pada salinitas elektrolit 5 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



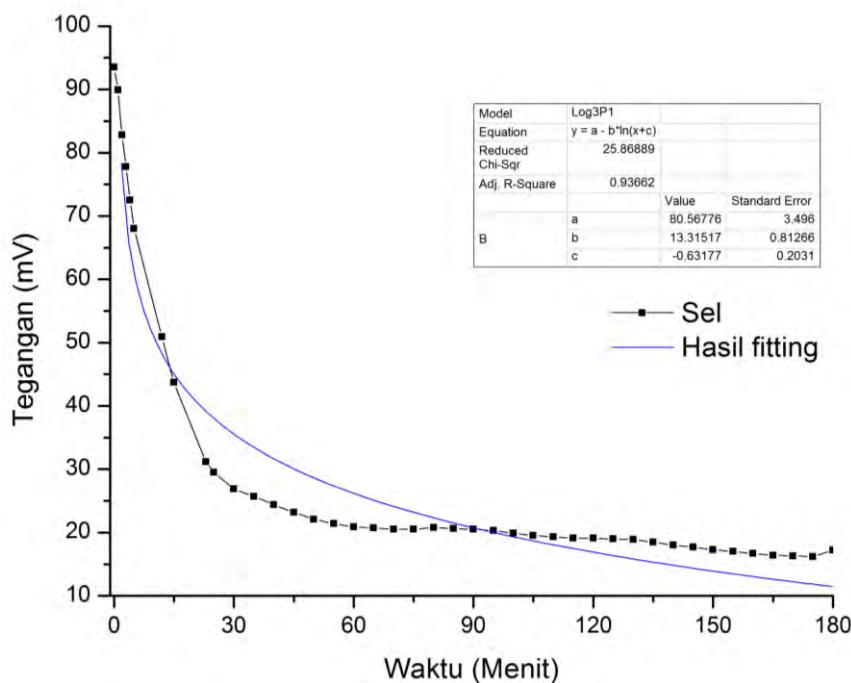
Gambar E.7 Fitiing grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 3 %, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



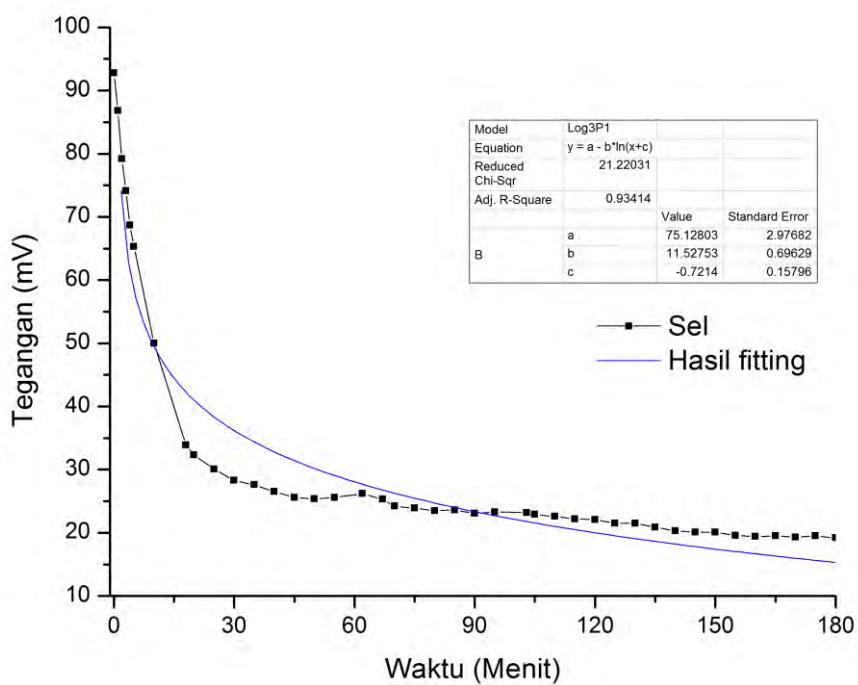
Gambar E.8 Fitiing grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 4 %, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



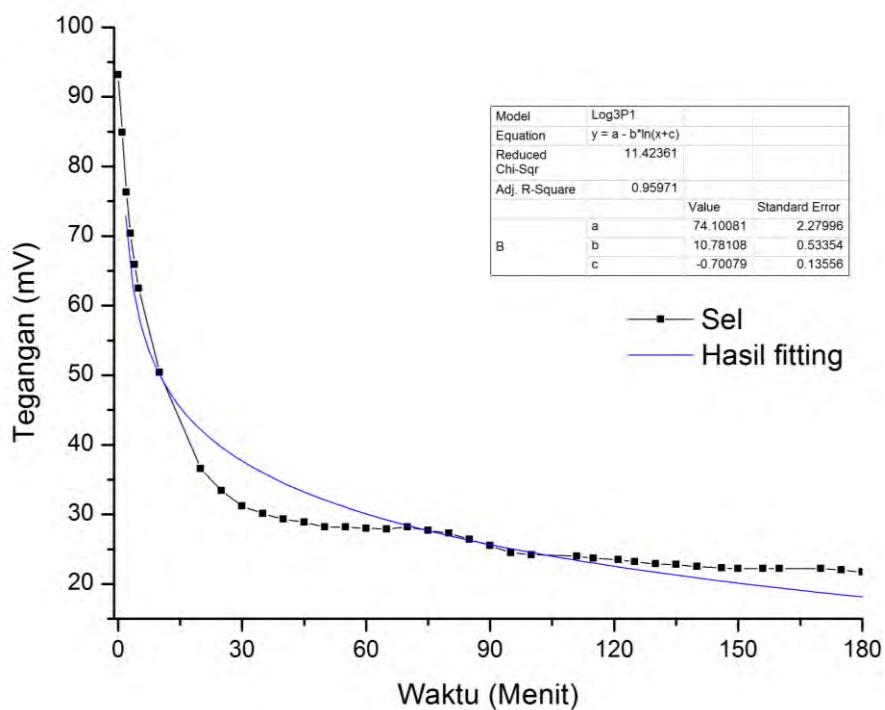
Gambar E9 Fitiing grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 5 %, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



Gambar E10 Fitiing grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 3 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



Gambar E11 Fiting grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 4 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.



Gambar E12 Fiting grafik discharge sel Zn/Al-Cu pada salinitas elektrolit 5 %, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam.

BAB 5

KESIMPULAN

Performa sel terbaik pada sel Al-Cu dan sel Zn/Al-Cu didapatkan pada keadaan salinitas elektrolit 5%, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0,5 liter/jam dengan nilai tegangan dan arus rata-ratamasing-masing sel sebesar 45,02 mV 440,19 μ A dan 73,56 mV 717,79 μ A.Sel Zn/Al-Cu memiliki performa *discharge* lebih baik jika dibanding sel Al-Cu dengan ditunjukkan tegangan dan arus yang lebih besar, tetapi anoda paduan Zn/Al memiliki laju korosi lebih besar jika dibandingkan anoda Al. laju korosi paduan Zn/Al sebesar 0,50254 mm/tahun, sedangkan Al sebesar 0,00094615 mm/tahun . Proses *interface* elektrokimia lempeng Al/larutan NaCl dan lempeng Zn/Al/larutan NaCl pada penelitian kontrol oleh proses aktivasi terkontrol (*activation-controlled mode*) dengan nilai R_s -1,18 Ω dan R_p 5,12 Ω untuk lempeng Al dan R_s 2,15 Ω dan R_p 708 m Ω untuk lempeng Zn/Al.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrehman, T., Yousif, Z. A., Al-Ameri, S., Abdulkareem, I., Abdulla, A. M., & Haik, Y. (2015). Enhancing the performance of Mg-Al brine water batteries using conductive polymer-PEDOT: PSS. *Renewable Energy*, 82, 125–130.
- Aoki, Y. & Hiroi, M., (1968), Cupric Oxalate, A New Cathode Material for Reserve Batteries, Vol. 13, hal. 1563-1568.
- Al-Qasem, O. S. W., (2012), Modeling and Simulation of Lead-Acid Storage Batteries within Photovoltaic Power Systems, Thesis Ph.D., Universitas Nasional An-Najah, Nablus, Palestina.
- Chasteen, S. V, Chasteen, N. D., & Doherty, P. (2008). The Salty Science of the Aluminium Air Battery. *The Physics Teacher*, 46, 544–547.
- Chang, J. & Ye, L. W., (2014), Thermoelectric Performances of Seawater and Al_2O_3 Nanofluids Using Battery Facility, Vol. 3, hal. 35-40.
- Hasvold, .., Henriksen, H., Melv r, E., Citi, G., Johansen, B. .., Kj ni gsen, T., & Galetti, R. (1997). Sea-water battery for subsea control systems. *Journal of Power Sources*, 65(1-2), 253–261.
- Hongyang, Z., Pei, B. & Dongying, J., (2009), Electrochemical Performance of Magnesium Alloy and its Application on The Sea Water Battery, S88-S91.
- Kiehne, H. A. (2003). *Battery Technology Handbook*.
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *HANDBOOK OF BATTERIES*. (D. L. & T. B. Reddy, Ed.) (3rd ed.). united stated of america: McGraw-hill Companies.
- May, T. P., Schuldiner, S. & Burbank, J., (1948), *Anodic Behavior of Aluminium and Zinc Alloys in Sea Water*, NLR Report C-3277, Naval Research Laboratory, Washington.
- Mayilvel Dinesh, M., Saminathan, K., Selvam, M., Srithar, S. R., Rajendran, V., & Kaler, K. V. I. S. (2015). Water soluble graphene as electrolyte additive in magnesium-air battery system. *Journal of Power Sources*, 276, 32–38.
- Medeiros, M. G.&Dow, G., (1998), Magnesium-Solution Phase Catholyte Seawater Electrochemical System, Vol. 80, hal. 78-82.
- Mohandas, K. S., Sanil, N., Noel, M.&Rodrigues, P., (2002), Electrochemical Intercalation of Aluminium Chloride in Graphite in The Molten Sodium Chloroaluminate Medium, Vol. 41, hal. 927-932.
- Ramakanth, S. (2012). Cheaper Electrodes Having Higher Efficiency Using Salt Water and Salt Vinegar Electrolytes. *International Journal of Innovative Research & Development*, 1(8), 310–322.
- Rao, K. V., (2001), Performance Evaluation of Mg-AgCl Batteries for Underwater Propulsion, Vol. 51, No. 6, hal. 161-170.

- Rastogi, R. B., Singh, M. M. & Yadav, M. (2003), Materials Chemistry and Physics, Vol. 80, hal. 283.
- Renuka, R., (1998), Influence of Allotropic Modification of Sulphur on The Cell Voltage in Mg-CuI(S) Seawater Activated Battery, Vol. 59, hal. 42-48.
- Ross, P. N., *Hydrogen in Standard Reduction Potentials*, IUPAC, edited by A. J. Bard, R. Parsons and J. Jordan, Marcel Dekker, Inc., New York, hal. 39-48.
- Science, N. (2001). Performance Evaluation of Mg-AgCl Batteries for Underwater Propulsion. *Defence Science Journal*, 51(2), 161–170.
- Shen, P. K., & Tseung, A. C. C. (1994). Development of an aluminium-hea water battery for sub- sea applications. *Journal of Power Sources*, 47, 119–127.
- Shinohara, M., Araki, E., Kanazawa, T., & Suyehiro, K. (2006). Deep-sea borehole seismological observatories in the Western Pacific: temporal variation of seismic noise level. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, 49(2/3), 626–641.
- Tamulevicius, S. & Dargis, R., (1997), Application of Plasma Spray Deposited Coating for Seawater Activated Batteries, Vol. 72, hal. 9-13.
- Wagner, J. P., (1971), Seawater Battery Experiments, Technical Memorandum, Laboratorium Applied Physics, Universitas John Hopkins, Georgia.
- Wales, C. P., Simon, A. C., & Schuldiner, S. (1975). Anodes of Al alloyed with Zn for seawater batteries. *Electrochimica Acta*, 20(11), 895–901.
- Wang, N., Wang, R., Peng, C., & Feng, Y. (2014). Enhancement of the discharge performance of AP65 magnesium alloy anodes by hot extrusion. *Corrosion Science*, 81, 85–95.
- Wang, N., Wang, R., Peng, C., Feng, Y., & Chen, B. (2012). Effect of hot rolling and subsequent annealing on electrochemical discharge behavior of AP65 magnesium alloy as anode for seawater activated battery. *Corrosion Science*, 64, 17–27.
- Wang, N., Wang, R., Peng, C., Hu, C., Feng, Y., & Peng, B. (2014). Research Progres of Magnesium Anodes and Their Applications in Chemical Power Sources. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(8), 2427–2439.
- Wilcock, W. S. D., & Kauffman, P. C. (1997). Development of a seawater battery for deep-water applications. *Journal of Power Sources*.
- Yu, K., Huang, Q., Zhao, J., & Dai, Y. L. (2012). Electrochemical properties of magnesium alloy anodes discharged in seawater. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22(9), 2184–2190.
- Yu, K., Tan, X., Hu, Y., Chen, F., & Li, S. (2011). Microstructure effects on the electrochemical corrosion properties of Mg – 4.1% Ga – 2.2% Hg alloy as the anode for seawater-activated batteries. *Corrosion Science*, 53(5), 2035–2040.

- Yu, K., Xiong, H. Q., Wen, L., Dai, Y. L., Yang, S. H., Fan, S. F., ... Qiao, X. Y. (2015). Discharge behavior and electrochemical properties of Mg-Al-Sn alloy anode for seawater activated battery. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 25(4), 1234–1240.
- Zhao, J., Yu, K., Hu, Y., Li, S., Tan, X., Chen, F., & Yu, Z., (2011), Discharge Behavior of Mg-4 wt%Ga02 wt%Hg Alloy as Anode for Seawater Activated Battery, Vol.56, hal. 8224-8231.

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Masrufaiyah , dilahirkan pada tanggal 08 Agustus 1989 di Lamongan Jawa Timur . Riwayat pendidikan formal penulis : Taman Kanak-Kanak Putra Buana Wanar Pucuk Lamongan (1995-1996), Sekolah Dasar Negeri I Wanar Pucuk Lamongan (1996-2002), Sekolah Menengah Pertama Negeri II Kesambi Pucuk Lamongan (2002-2005), Sekolah Menengah Atas Negeri I Lamongan Lamongan (2005-2008), Universitas Airlangga Surabaya untuk menempuh pendidikan Sarjana (2008-2013)



Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk menempuh pendidikan Magister (2014-2016)

Penulis mengambil judul tesis kinerja baterai elektrolit air tawar dan air laut sebagai sumber energi aplikatif. Banyak ilmu yang didapat penulis selama menempuh pendidikan magister dan mengerjakan penelitian termasuk dari segi IQ, EQ dan SQ. Penulis dapat dihubungi melalui email masrufaiyah@gmail.com. Semoga buku tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Salam,

Masrufaiyah