



# Plagiarism Checker X Originality Report

**Similarity Found: 8%**

Date: Wednesday, December 26, 2018

Statistics: 380 words Plagiarized / 4915 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

---

Jurnal Migasian ISSN – p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Vol. 3 No. 1:12-23 , Juni 2019  
@copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut Masrufaiyah1), Ridho Hantor(2) 1)Program Studi S-1 Teknik Mesin, UNIVERSITAS GRESIK 2) Teknik Fisika , ITS, Surabaya 1E-mail : masrufaiyah@gmail.com ABSTRAK Paduan aluminium dapat digunakan sebagai material anoda pada baterai air laut.

Penelitian karakteristik elektrokimia anoda Al-Zn dan katoda Cu dilakukan pada salinitas elektrolit, jarak antar elektroda dan laju elektrolit yang berbeda. Uji **electrochemical impedance spectroscopy (EIS) dan polarisasi potensiodinamik** Al-Zn dilakukan untuk mengetahui mekanisme korosi sel. Hasil pengukuran menunjukkan performa terbaik didapatkan pada keadaan salinitas elektrolit 5%, jarak antar elektroda 2 cm dan laju elektrolit 0,5 liter/jam dengan tegangan discharge 73,56 mV dan arus 0,717 mA. Hasil uji EIS menunjukkan proses elektrokimia interfacial didominasi oleh reaksi aktivasi terkontrol.

Kata Kunci: baterai air laut, discharge galvanostatik, spektroskopi impedansi elektrokimia. ABSTRACT Aluminum **alloys can be developed as anode material for seawater activated batteries. The electrochemical properties of** Al- Zn alloy anode and Cu Cathode discharged in seawater were studied at variation of different electrolyte salinity, distance between electrodes and flowrate of electrolyte.

The potentiodynamic polarization **and electrochemical impedance spectroscopy (EIS)** of Al-Zn alloy in seawater were investigated to know corrosion mechanism of cell. The results show that the combination of 5% electrolyte salinity, 2 cm space between electrodes and 0,5 litre/hour electrolyte rate obtains the optimum condition with

significant average potential discharge of 73,56 mV and current of 0,717 mA.

EIS studies reveal that the Al-Zn and Cu interfacial electrochemical process in seawater is determined by an activation controlled reaction. Keywords: Seawater battery, galvanostatic discharge, electrochemical impedance Pendahuluan Baterai air laut memiliki banyak manfaat pada peralatan listrik yang digunakan pada kelautan.

Beberapa manfaat tersebut adalah operasi baterai relatif tidak terpengaruh tekanan kotak baterai, memiliki waktu hidup lama selama air laut masih tersedia, biaya pembuatannya tidak mahal, portable.dan ramah lingkungan. 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 m. Tetapi mahalnya harga magnesium dan perak membatasi pemanfaatannya.

Jika dibandingkan dengan Magnesium, Aluminium memiliki laju self discharge lebih lambat [20], harga yang lebih murah dan memiliki kapasitas yang lebih besar dibanding magnesium [8]. Tembaga dapat digunakan sebagai katoda untuk menggantikan 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 Al-Zn 12 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 sebagai sebagai anoda sangat bermanfaat pada baterai air laut karena paduan Al-Zn dapat melindungi katoda, paduan tersebut memiliki potensial mendekati Zn murni.

Penggunaan paduan seng sebagai katoda diharapkan dapat mengurangi laju self discharge baterai air laut. 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.

Teori Dasar 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 [8]. Komponen utama sel baterai yaitu elektroda, elektrolit, terminal, separator dan pembungkus. Elektroda baterai ada dua yaitu anoda dan katoda, 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. Reaksi oksidasi  $S(N)_{red} \rightarrow S(N)_{ok} + ne^-$  Reaksi reduksi  $S(P)_{ok} + ne^- \rightarrow S(P)_{red}$  Reaksi keseluruhan  $S(N)_{red} + S(P)_{ok} \rightarrow S(N)_{ok} + S(P)_{red} + \text{Energi}$  Baterai air laut menggunakan air laut sebagai elektrolitnya.

Energi listrik maksimum yang dapat dihantarkan oleh zat kimia menuju elektroda di dalam sel bergantung pada perubahan energi bebas ( $\Delta G$ ) sepesang zat elektrokimia. (1) Dengan : perubahan energi bebas Gibbs (Joule)  $n$  : mol elektron yang ditransfer  $F$  : Konstanta Faraday (96.487 Coulomb atau Joule/volt) : 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. Tegangan sel baterai ( $E$ ) yang terhubung dengan beban eksternal  $R$  dapat digambarkan dengan rumus.  $E = E_{oc} - \eta_a - \eta_c - IR_{int}$  (2) Dengan : Gaya gerak listrik atau tegangan open-circuit sel ( $E_{oc}$ ) : Aktifasi polarisasi charge-transfer overvoltage pada anoda dan katoda ( $\eta_a, \eta_c$ ) : Konsentrasi polarisasi pada anoda dan katoda : Arus operasi sel ketika ada beban : Resistansi internal sel Persamaan (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 menghantarkan hampir semua energi teoritisnya. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara polarisasi sel dan arus discharge. Gambar 1 Polarisasi sel sebagai fungsi arus operasi (Linden & Reddy, 2002) 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 (1) atau secara eksperimen. 13 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Secara teori, potensial sel pada keadaan standart dapat dihitung menggunakan

**persamaan.**

$E_0 \text{ sel} = - (3)$  Pada kondisi selain keadaan standar, tegangan sel ( $E$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan Nernst.  $E = E_0 - (4)$  Dengan  $R$  : Konstanta gas ( $8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ )  
 $T$  : Temperatur absolut (K)  $K$ : **Tetapan kesetimbangan yang nilainya sama dengan perbandingan aktifitas spesi teroksidasi terhadap spesi tereduksi.**  $K = [ ] [ ]$  (5) Pada kesetimbangan, nilai  $E$  sel adalah nol Sehingga  $E_0 \text{ sel} = (6)$   $K = (7)$  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. Karakteristik kurva discharge baterai [8] Pada kasus ideal, discharge baterai berlangsung pada tegangan teoritis hingga material aktif terkonsumsi dan kapasitas terpakai sepenuhnya. Selanjutnya, Tegangan drop sampai nol. **Di bawah kondisi yang** sebenarnya, kurva discharge sama dengan kurva lainnya pada Gambar 2.

Resistansi Internal Hambatan internal menunjukkan kemampuan baterai untuk menangani beban tertentu. 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.  $R_i = = (8)$  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.

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 discharge dengan  $S$  adalah material anoda dengan elektrolit cair. yaitu  $S + 2H_2O \rightarrow S(OH)_2 + H_2 + \text{panas}$  (9) 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*. Metodologi 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. 14 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan

Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 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 keluarnya 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 [1]. Pengukuran dilakukan 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. 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 paralel untuk mengukur tegangan keluaran sel. Pengukuran dilakukan selama rata-rata tiga jam.

Hasil dan Pembahasan Komposisi Penyusun Elektroda Elektroda yang digunakan pada penelitian adalah 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). Tabel 1 Hasil Uji Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer dari Lempeng Paduan

Seng/Aluminium dan Lempeng Tembaga. No.

Nama lempeng Jenis Uji Hasil (ppm) 1 Tembaga Kandungan Cu 51702,3 2 Paduan seng-aluminium Kandungan Al 850,6 Kandungan Zn 1008,6 Sumber : Data diperoleh dari laboratorium energi-LPPM ITS (a) (b) 15 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Gambar 3 Hasil uji EDS pada elektroda.

(a) Tembaga, (b) Paduan seng-aluminium (Data diperoleh dari laboratorium divisi karakterisasi material teknik material dan metalurgi FTI- ITS) Gambar 3 menunjukkan bahwa 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 1 menunjukkan bahwa Unsur tembaga yang terdapat pada lempeng tembaga juga sangat tinggi yaitu 51702,3 ppm. Unsur aluminium pada paduan seng- aluminium sangat kecil yaitu 850,6 ppm, sedangkan unsur seng sebesar 1008,6 ppm.

Aluminium merupakan anoda pengganti magnesium yang banyak digunakan pada baterai air laut. Aluminium memiliki laju self discharge lebih lambat dan memiliki kapasitas yang lebih besar dibanding magnesium [18]. Aluminium memiliki kapasitas 2,980 Ah/g dan magnesium memiliki kapasitas 2,205 Ah/g [21].

Tembaga memiliki potensial standar 0,34 volt (SHE) [8] 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. [8]. 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 [20].

Paduan aluminium dan seng juga terbukti dapat melindungi logam kapal dari korosifitas [9]. 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 [14]. Gambar 4.

Kurva 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 2. Parameter Korosi yang Diperoleh dari Kurva Polarisasi Potensiodinamik. Lempeng anoda Aluminium Seng-aluminium Corrosion current density  $J_{corr}$  -2 -2 Corrosion potential  $E_{corr}$  (vs Ag/AgCl) -660,130 mV -944,630 mV Corrosion rate (mm/tahun) 0,00094615 0,50254 Polarization resistance Sumber : Data diperoleh dari laboratorium elektrokimia dan nanoteknologi teknik kimia ITS 1,00E-08 1,00E-07 1,00E-06 1,00E-05 1,00E-04 1,00E-03 1,00E-02 -1,05 -0,95 -0,85 -0,75 -0,65 Log  $j - 2$ ) Potensial (V vs Ag/AgCl) 16 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Kurva polarisasi potensiodinamik dari kedua lempeng anoda ditunjukkan pada Gambar 4.

Parameter polarisasi terukur pada kurva polarisasi yaitu kerapatan arus korosi dan potensial korosi ditunjukkan pada Tabel 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 kooya ninkat esar1,7091 A·m<sup>-2</sup>.

Nilai potensial korosi yang semakin negatif dengan kerapatan arus korosi yang lebih besar sangat diperlukan sebagai karakteristik material anoda pada baterai air laut [27]. Dari Tabel 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.

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 5. 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) [9]. 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 5. 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  $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$  yang berupa endapan putih pada Gambar 6. Reaksi yang terjadi didalam sel sebenarnya kompleks, tetapi dapat disederhanakan seperti berikut : Katoda  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$  (Dissolve Oxygen) [28] Anoda  $\text{Al} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + 3\text{e}^-$  Reaksi keseluruhan  $\text{Al} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3(\text{s})$  [18] 17 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 (a) (b) (c) (d) Gambar 6.

Elektroda sebelum dan setelah discharge : (a) Tembaga sebelum discharge (b) Tembaga setelah discharge dengan endapan  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan  $\text{CuO}$  yang menempel pada permukaan, (c) Paduan seng- aluminium sebelum discharge dan (d) 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 oksida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) dan hasil reaksi oksidasi aluminium oleh oksigen adalah aluminium hidroksida ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). 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  $\text{Cu}^{2+}$  adalah 0,48 volt, sedangkan aluminium memiliki energi potensial standart sebesar 3,12 volt [4]. Gambar 4.4 (d) menunjukkan hasil reaksi oksidasi tembaga oleh oksigen. Endapan berwarna merah yang menempel pada permukaan tembaga adalah  $\text{Cu}_2\text{O}$  dan endapan berwarna hitam adalah  $\text{CuO}$ .



Pada permukaan aluminium, selain endapan berwarna putih ( $\text{Al(OH)}_3$ ), 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 :  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$   $E^0 = -0,41$  volt ( Hydrogen evolving corrosion ) [16] Pada proses discharge, sel Zn/Al-Cu diperkirakan menghasilkan oksida hidrat. Mulai dengan  $\text{Al(OH)}_3$  yadndkan agai -  $\text{AlOOH}$  tau -  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  an ern $\beta$  - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Sedangkan, Zn teroksidasi menjadi  $\text{Zn}^{2+}$  [20]. 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. Karakteristik Discharge Sel Karakteristik performa sel ditunjukkan dengan kurva discharge tegangan terhadap waktu dan arus terhadap waktu.

Pengukuran dilakukan rata-rata selama 3 jam. Kurva discharge arus terhadap waktu juga digunakan untuk menguji karakteristik performa sel Al/Zn-Cu sebagai fungsi salinitas elektrolit. Gambar 4.5 menunjukkan kurva discharge sel Zn/Al-Cu arus- waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda 0,5 cm.

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.

18 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Pada aliran elektron didalam larutan elektrolit, garam sangat berperan penting. Reaksi reduksi pada katoda menghasilkan ion hidroksida.

Ion sodium ( $\text{Na}^+$ ) akan mengalir ke arah kiri untuk menetralkan ion  $\text{OH}^-$  yang dihasilkan tembaga. Selanjutnya, ion klorin ( $\text{Cl}^-$ ) akan bergerak ke kanan menggantikan  $\text{OH}^-$  yang digunakan pada reaksi oksidasi. Hasilnya adalah elektron bergerak ke kanan yaitu dari tembaga ke aluminium dan reaksi tersebut hanya terjadi pada garam.

Keterangan : (2) Sel Zn/Al-Cu, Aquades, Jarak antar elektroda 0,5 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 (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 Tabel 3.

Nilai Konduktifitas Larutan NaCl Salinitas larutan NaCl Konduktifitas (miliSiemen)  
Temperatur larutan NaCl (0C) 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  
Gambar 7. Kurva discharge arus - waktu. Laju elektrolit 0 liter/jam dan pada jarak antar elektroda 0,5 cm Gambar 8.

Kurva discharge tegangan sel pengaruh jenis anoda, salinitas elektrolit, laju antar elektroda dan laju elektrolit. 19 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 Arus yang terukur pada sel dengan elektrolit aquades menunjukkan bahwa didalam aquades masih terkandung garam dalam jumlah sedikit, sehingga masih dapat terjadi rekasi elektrokimia yang menghasilkan 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. Gambar 8. 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 [22]. Gambar 8. 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 [6].

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 didaerah dekat tembaga yang membuat arus keluaran menurun terhadap waktu. Performa sel menurun terhadap waktu juga disebabkan karena logam melapisi oksida- oksida dan hasil samping reaksi korosif lainnya. Gambar 9.

Fitting grafik discharge sel Al/Zn-Cu pada salinitas elektrolit 3%, jarak antar elektroda 0,5 cm dan laju elektrolit 0 liter/jam. 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 tersebut sesuai dengan persamaan tegangan sel yang terhubung ke sebuah beban yang diberikan oleh Nernst yaitu  $E = E_0 - n \ln$ . Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Elektroda Gambar 10 merupakan hasil uji EIS lempeng lempeng Al/Zn didalam larutan NaCl 3%. Plot Nyquist 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  $R_p$  [25].

Perpotongan pada sumbu x pada frekuensi yang lebih tinggi memberikan informasi nilai resistansi larutan ( $R_s$ ). 20 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by Jurnal Migasian, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 (a) (b) Gambar 10. Hasil uji EIS lempeng Zn/Al didalam larutan NaCl 3%. (a) Plot Nyquist lempeng Zn/Al dan (b) Equivalent circuit model lempeng Zn/Al.

Nilai  $R_p$  lempeng Al dari plot Nyquist adalah 5,12  $\Omega$ , sedangkan nilai  $R_p$  lempeng Al/Zn adalah 708 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. Cdl 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 :  $C = Y_0 ( )$  Dengan C adalah kapasitansi dalam  $\Omega^{-1} \text{cm}^{-2} \text{s}^n$ , adalah frekuensi angular yang merupakan bagian imajiner dari impedansi ( $-Z_g$  ermain [23].

Lempeng Al memiliki nilai  $Y_{0,45} \mu$  dan  $N_{0,769}$ , sedangkan lempeng Zn/Zl memiliki nilai  $Y_{0,09} m$  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[25]. Selama proses korosi, lapisan pelindung yang semakin menumpuk pada permukaan lempeng menghalangi Al larut dalam elektrolit [26].

Kesimpulan Performa sel terbaik pada 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-rata sel sebesar 73,56 mV 717,79  $\mu$  u rsi ad Al esar0525 mm/tahun. Proses interface elektrokimia lempeng Zn/Al/larutan NaCl pada penelitian kontrol oleh proses aktivasi terkontrol (activation-controlled mode) dengan  $R_s$  21 an p 7

Saran Berdasarkan kesimpulan penelitisn, maka penulis merekomendasikan untuk mengembangkan penelitian pada banyak variabel keadaan seperti dengan menambahkan variasi laju elektrlit, jarak antar elektroda, salinitas elektrolit dan jenis elektroda. Referensi [1] 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.

[2] Aoki, Y. & Hiroi, M., (1968), Cupric Oxalate, A New Cathode Material for Reserve Batteries, Vol. 13, hal. 1563-1568. [3] 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. [4] Chasteen, S. V, Chasteen, N. D., & Doherty, P. (2008). **The Salty Science of the** Aluminium Air Battery. *The Physics Teacher*, 46, 544 – 547.

0,05 0,1 0,15 0,2 0,25 2,2 2,3 2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 - Z'' ( O Z' ( O 21 Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut **@copyright by Jurnal Migasian**, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 [5] Chang, J. & Ye, L. W., (2014), Thermoelectric Performances of Seawater and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids Using Battery Facility, Vol. 3, hal. 35-40. [ Id , ikse,H. lv r , .

Johansen, B. Ø., Kjøningsen, T., & Galetti, R. (1997). **Sea-water battery for subsea control** systems. *Journal of Power Sources*, 65(1-2), 253 – 261. [7] Kiehne, H. A. (2003). *Battery Technology Handbook*. [8] Linden, D., & Reddy, T. B. (2002). *HANDBOOK OF BATTERIES*.

(D. L. & T. B. Reddy, Ed.) (3rd ed.). United States of America: McGraw-Hill Companies. [9] 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. [10] Mayilvel Dinesh, M., Saminathan, K., Selvam, M., Srither, 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. [11] 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. [12] 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. [13] Rao, K. V.,

(2001), Performance Evaluation of Mg- AgCl Batteries for Underwater Propulsion, Vol. 51, No. 6, hal. 161-170. [14] Rastogi, R. B., Singh, M. M. & Yadav, M. (2003), *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 80, hal. 283. [15] 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. [16] 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. [17] Science, N. (2001). Performance Evaluation of Mg- AgCl Batteries for Underwater Propulsion. *Defence Science Journal*, 51(2), 161 – 170. [18] Shen, P. K., & Tseung, A. C. C. (1994). Development of an aluminium-seawater battery for sub-sea applications. *Journal of Power Sources*, 47, 119 – 127. [19] Shinohara, M., Araki, E., Kanazawa, T.,

& Suyehiro, K. (2006). Deep-sea borehole seismological observations reveal temporal variation of seismic noise level. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, 49(2/3), 626 – 641. [20] Wales, C. P., Simon, A. C., & Schuldiner, S. (1975). Anodes of Al alloyed with Zn for seawater batteries. *Electrochimica Acta*, 20(11), 895 – 901. [21] 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. [22] 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. [23] Wang, N., Wang, R., Peng, C., Hu, C., Feng, Y., & Peng, B. (2014).

Research Progress of Magnesium Anodes and Their Applications in Chemical Power Sources. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 24(8), 2427 – 2439. [24] Wilcock, W. S. D., & Kauffman, P. C. (1997). Development of a seawater battery for deep-water applications. *Journal of Power Sources*. [25] 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. [26] 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. 22 *Jurnal Migasian – AKAMIGAS Balongan* Vol. 3 No.1: 12-23, Juni 2019 Karakteristik Discharge dan Elektrokimia Paduan Al-Zn pada Baterai Air Laut @copyright by *Jurnal Migasian*, ISSN-p-2580-5258; ISSN-e-2615-6695 [27] Yu, K., Xiong, H. Q., Wen, L., Dai, Y. L., Yang, S. H. ,.... , 25.

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. [28] 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 23

#### INTERNET SOURCES:

<1% -

<http://ojs.akamigasbalongan.ac.id/index.php/jurnal-migasian/article/download/42/28/>

<1% - [http://a-research.upi.edu/operator/upload/s\\_pkim\\_055460\\_bab\\_iii.pdf](http://a-research.upi.edu/operator/upload/s_pkim_055460_bab_iii.pdf)

<1% - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1003632611614477>

<1% -

<https://www.science.gov/topicpages/p/potentiodynamic+polarization+electrochemical.html>

<1% -

[https://www.researchgate.net/publication/257443950\\_Electrochemical\\_properties\\_of\\_magnesium\\_alloy\\_anodes\\_discharged\\_in\\_seawater](https://www.researchgate.net/publication/257443950_Electrochemical_properties_of_magnesium_alloy_anodes_discharged_in_seawater)

<1% - <https://ners-septian.blogspot.com/2012/09/korosi.html>

<1% - [https://www.academia.edu/36603808/MAKALAH\\_BATERAI\\_ACCU](https://www.academia.edu/36603808/MAKALAH_BATERAI_ACCU)

<1% - <https://sarahmeysara.blogspot.com/2014/04/reaksi-oksidasi-dan-reduksi.html>

<1% -

<https://aristalindra.blogspot.com/2011/10/elemen-elemen-dalam-sumber-arus-listrik.html>  
<1% - [https://www.academia.edu/10858114/Makalah\\_Sel\\_Volta](https://www.academia.edu/10858114/Makalah_Sel_Volta)  
<1% -  
[https://keseimbangankimia15a.blogspot.com/2017/06/kesetimbangan-elektrokimia\\_79.html](https://keseimbangankimia15a.blogspot.com/2017/06/kesetimbangan-elektrokimia_79.html)  
<1% - <https://instrumentasiwahyu.blogspot.com/2013/09/instrumentasi-part-i.html>  
<1% - <https://fundra-dian.blogspot.com/2010/12/dasar-dasar-semikonduktor.html>  
<1% - <https://windale.blogspot.com/2012/12/rangkaian-ekivalen-thevenin.html>  
<1% - [https://www.academia.edu/7419455/Makalah\\_Laparatomy](https://www.academia.edu/7419455/Makalah_Laparatomy)  
<1% -  
<https://id.scribd.com/doc/291285976/Prosiding-Seminar-Nasional-Material-Dan-Metalurgi-VIII>  
<1% - <http://www.ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/download/31835/5501>  
<1% -  
<https://jalanjermalraya.blogspot.com/2013/10/sumber-sumber-listrik-baterai-generator.html>  
<1% -  
<https://prabhagib.blogspot.com/2016/12/bahan-listrik-konduktor-artikel-lengkap.html>  
<1% - <http://digilib.unila.ac.id/11171/15/BAB%20I.pdf>  
<1% - <http://www.digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-23790-1106100018-Paper.pdf>  
<1% - <https://writersfic.wordpress.com/2012/06/25/aluminium-dan-persenyawaannya/>  
<1% - <https://ganihp.blogspot.com/2015/12/>  
<1% - <https://pt.scribd.com/document/238490917/Konduktivitas>  
<1% - <https://alipanca5.blogspot.com/2012/07/pembuatan-buffer.html>  
<1% - <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP/article/download/3007/2877>  
<1% - <https://bacabse.blogspot.com/2010/02/smk-10-kimia-ratna-html.html>  
<1% - <https://www.chasteenconsulting.com/publications-talks/peer-reviewed/>  
<1% -  
<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/sea-water-battery-for-subsea-control-systems-xnywp496j5>  
<1% - <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/252/1/012058>  
<1% -  
<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/water-soluble-graphene-as-electrolyte-additive-in-magnesium-air-LHbOkKQNHG>  
<1% - [http://krc.cecri.res.in/ro\\_2001.html](http://krc.cecri.res.in/ro_2001.html)  
<1% - <https://www.termwarehouse.com/essay-on/Project/453565>  
<1% - <https://www.ijirms.in/index.php/ijirms/>  
<1% - [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01481949v1/html\\_references](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01481949v1/html_references)  
<1% -

[https://www.researchgate.net/publication/275366065\\_Sea\\_water\\_magnesium\\_fuel\\_cell\\_p  
ower\\_supply](https://www.researchgate.net/publication/275366065_Sea_water_magnesium_fuel_cell_power_supply)

<1% - <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-018-3750-7>

1% - <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/105/1/012054/meta>

<1% -

[https://www.researchgate.net/publication/265909772\\_Research\\_progress\\_of\\_magnesium  
\\_anodes\\_and\\_their\\_applications\\_in\\_chemical\\_power\\_sources](https://www.researchgate.net/publication/265909772_Research_progress_of_magnesium_anodes_and_their_applications_in_chemical_power_sources)

<1% - <https://academic-tree.org/chemistry/publications.php?pid=101119>

<1% -

<https://neurotree.org/beta/publications.php?pid=15795&searchstring=&showfilter=all>