

# Studi Analisis Rugi-rugi Baterai Tipe Alumunium Udara pada Beban Listrik Statis

Hasyir Ahmad Munadi<sup>1\*</sup>, Aripin<sup>2</sup>, Nurul Hiron<sup>3</sup>

<sup>123</sup>Universitas Siliwangi

<sup>123</sup>Jl. Siliwangi No. 24, Kahuripan, Kec. Tawang, Tasikmalaya, Jawa Barat 46115

<sup>1</sup>167002040@student.unsil.ac.id

<sup>2</sup>aripin@unsil.ac.id

<sup>3</sup>hiron@unsil.ac.id

**Abstrak**—Rugi-rugi baterai tipe alumunium udara (Al-udara) pada beban listrik statis telah dianalisis. Sel baterai Al udara berbentuk segi empat dengan panjang 6 cm, lebar 5 cm, dan tebal 1 cm. Baterai menggunakan plat Al, KOH, tissue, dan silika xerogel berturut-turut sebagai anoda, elektrolit, separator dan bahan aktif katoda udara. Karakteristik baterai ditentukan dengan memvariasikan lamanya *charging* dan pengisian ulang larutan elektrolit ke dalam sel baterai. Sel baterai dikarakterisasi menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan *Battery Testing System* (BTS). Modul baterai dikonfigurasi dengan 12 sel baterai yang tersusun secara paralel/seri. Modul baterai diuji ke beban listrik statis menggunakan lampu *Light Emitting Diode* (LED) berdaya 75 mW. Rugi-rugi baterai Al-udara (impedansi karakteristik) sebelum dan setelah pengosongan pada lampu LED dibandingkan dan dianalisis. Hasil menunjukkan bahwa arus pengosongan optimum baterai adalah 0.8 mA dan kapasitas maksimum 0,59 mAh. Pada pengujian beban LED, pengulangan *charging* baterai menurunkan waktu uji dan suplai daya baterai terhadap beban. Waktu uji baterai dan daya suplai baterai terhadap beban LED berturut-turut menurun dari 185 menit menjadi 7 menit dan dari 18,69 mWatt menjadi 3,14 mWatt jika baterai melakukan pengulangan *charging* dari *charging* pertama sampai *charging* keempat, sehingga rugi-rugi daya sekitar 83,19% dari daya originalnya untuk sampai ke pengulangan *charging* keempat.

**Kata kunci:** Baterai Al udara, *Discharging*, EIS, LED, Rugi-rugi baterai

**Abstract**—*Losses of al- air battery for static load have been analyzed. Quadrilateral of al - air battery with length 6 cm, width 5 cm and thick 1 cm. Battery uses Al plat, KOH, tissue, dan silika xerogel as an anode, electrolyte, separator and active material for air cathode. Characteristics of battery determined with variation of charging battery refill the electrolyte into the battery cell. Battery cell characterised by EIS method ( Electrochemical Impedance Spectroscopy) and BTS (Battery Testing System). Module of battery configurised by 12 battery cell arranged with parallel/seri. Modules of battery tested to static load use Light Emitting Diode lamp (LED) with power 75 mW. Losses of al-air battery (*

*characteristics impedance) before and after discharging on the LED lamp compared and analyzed. The result shows that optimum current for discharging is 0.8 mA and produces maksimum capacity 0.59 mAh. The results of EIS show that internal impedance of battery after discharge is higher than before discharge. results of CV show that current respon is lower after discharge than before discharge. For load static test (LED), recharge the battery decreases the duration of test and power output for the load. The duration of battery test and output power for load decrease from 185 minutes to 7 minutes and from 18,69 mWatt to 3.14 mWatt if the battery does recharge from first recharge to fourth recharge. so that losses of power more or less 83,19 % from original power until fourth recharge.*

**Keywords:** Al-air battery, *Discharging*, EIS, LED, Losses of battery

## I. PENDAHULUAN

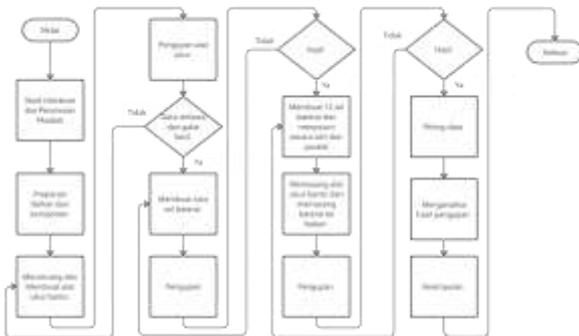
Baterai merupakan perangkat penyimpanan energi. Baterai dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan oleh suatu peralatan elektronik. Salah satu jenis baterai yang memiliki keunggulan dibanding jenis baterai lainnya adalah baterai logam udara yang memiliki energi spesifik yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan baterai seperti Li ion, Ni-Cd dan timbal asam [1]. Baterai logam udara seperti baterai alumunium udara adalah jenis baterai yang termurah karena melimpahnya unsur alumunium di alam dan udara yang tersedia secara bebas. Selain itu baterai alumunium udara juga memiliki densitas energi teoritis yang besar yaitu 8.1 kWh/kg [2].

. Resistansi Internal baterai merupakan resistansi yang dimiliki baterai itu sendiri. Idealnya, baterai memiliki hambatan dalam sebesar 0 sehingga tidak ada drop tegangan dan juga tidak ada daya listrik yang terdisipasi [3]. Ketika baterai digunakan dengan beberapa sel baterai juga dapat menimbulkan resistansi diluar dari resistansi internal baterai, yaitu resistansi external dimana sumber utamanya dari resistansi kawat dan resistansi dari kontak antara elektroda

baterai dengan terminal konektor [4]. Oleh karena itu, besar resistansi dalam ini berpengaruh langsung terhadap efisiensi baterai.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa rugi rugi baterai. Satu sel baterai aluminium udara akan diuji terlebih dahulu dan kemudian pengujian dengan baterai yg terdiri dari beberapa sel yang dihubungkan ke beban listrik statis. Resistansi internal baterai diukur menggunakan alat Palmsens 4, dengan menggunakan pengujian EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy). Dari pengujian EIS dapat diketahui parameter  $R_s$  (Resistansi Larutan Elektrolit) dan  $R_{ct}$  (Resistansi Transfer muatan) sebagai resistansi internal baterai.

## II. METODE



Gambar 1. Flowchart Penelitian

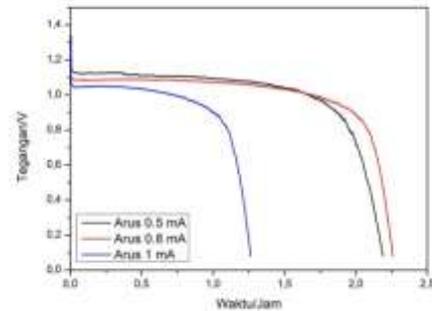
Gambar 1 menunjukkan flowchart penelitian. Penelitian ini diawali oleh studi literature, preparasi bahan dan komponen. Kemudian dilanjutkan dengan merancang dan merangkai alat ukur setelah itu dilanjutkan dengan pengujian masing masing unit sensor jika sensor bekerja dengan baik ditandai dengan terbacanya data dan error kecil maka dilanjutkan dengan pembuatan satu sel baterai, namun jika data tidak terbaca dan error besar maka kembali ke tahap merancang dan merangkai alat ukur. Kemudian setelah pembuatan satu sel baterai maka dilakukan pengujian. Setelah dilakukan pengujian satu sel baterai, maka langkah selanjutnya yaitu membuat 12 sel baterai yang disusun secara seri dan paralel yang nanti akan dihubungkan dengan beban. Sebelum dihubungkan ke beban baterai terlebih dahulu dipasang sensor sebagai alat ukur arus dan tegangan. Setelah alat ukur terpasang maka dilakukan pengujian yaitu baterai dihubungkan ke beban. setelah pengujian selesai maka dilakukan fitting data dan menganalisa hasil pengujian.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian Satu Sel Baterai Aluminium udara

#### 1) Pengujian Variasi Arus

Pengujian dengan variasi arus dilakukan untuk mengetahui lamanya proses pengosongan (discharging) pada baterai. Arus pengujian adalah 0.5 mA, 0.8 mA dan 1 mA.

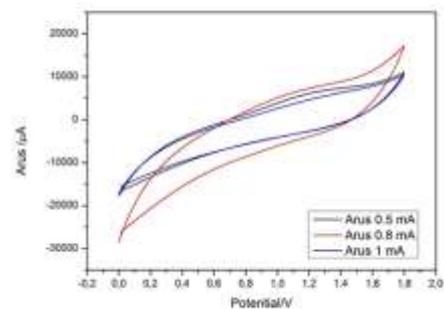


Gambar 2. Pengujian discharging dengan variasi arus

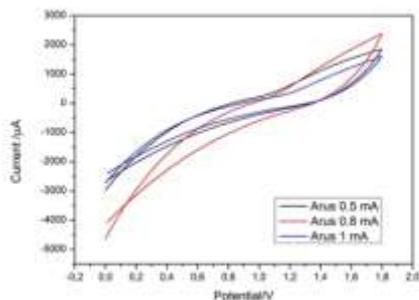
Gambar 2 merupakan grafik hasil pengujian *Discharging* dengan berbagai variasi arus mulai dari 0.5 mA, 0.8 mA dan 1 mA. Tegangan awal masing masing sel baterai adalah 1,32 V dan tegangan cut off nya disetting di 0,08 V. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pengujian arus konstan 0.5 mA mempunyai lama waktu pengosongan 2 jam 11 menit 23 detik. Arus konstan 0.8 mA mempunyai lama waktu pengosongan 2 jam 15 menit 29 detik dan arus konstan 1 mA mempunyai lama waktu pengosongan 1 jam 15 menit 47 detik. Kapasitas masing masing baterai, yaitu arus konstan 0.5 mA mempunyai kapasitas baterai 0,37 mAh, arus 0.8 mA mempunyai kapasitas 0,59 mAh dan arus 1 mA mempunyai kapasitas 0,55 mAh.

#### 2) Pengujian CV pada Variasi Arus

Pengamatan CV dilakukan pada rentangan potensial -0.2 V sampai dengan 2.0 V dengan scan rate 1 V/s.



(a)



(b)

Gambar 3. Grafik pengujian CV pada variasi arus, (a) sebelum discharge, (b) setelah discharge

Gambar 3 merupakan grafik pengujian CV pada arus 0.5 mA, 0.8 mA dan arus 1 mA. Hasil pengujian CV berupa grafik dimana prosesnya yaitu dari titik awal keatas menunjukkan proses *charging* dan dari atas menuju kebawah menunjukkan proses *discharging*. Pengukuran CV melihat hubungan antara potensial yang diberikan dan arus yang terukur, dimana arus diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal atau disebut juga penyapuan (*scanning*) dapat dibalik kembali setelah reaksi berlangsung.

Tabel I. Parameter Hasil Uji *Cyclic Voltammetry* (CV) sebelum *discharge*

	Arus ( $\mu\text{A}$ )		Tegangan (V)	
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi
0.5 mA	11084,36	-16636,2	1,79903	0,010039
0.8 mA	17235,58	-26202,1	1,79903	0,010039
1 mA	10414,4	-15501,3	1,79903	0,010039

Tabel II. Parameter Hasil Uji *Cyclic Voltammetry* (CV) setelah discharge

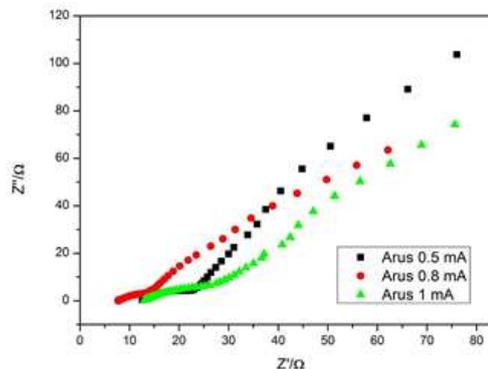
	Arus ( $\mu\text{A}$ )		Tegangan (V)	
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi
0.5 mA	1852,73	-2647,72	1,79903	0,010039
0.8 mA	2380,74	-4072,84	1,79903	0,010039
1 mA	1609,49	-2403,48	1,79903	0,010039

Tabel I dan II merupakan parameter hasil uji CV sebelum dan setelah uji *discharge*. Arus oksidasi atau arus anodik adalah arus yang dihasilkan pada saat proses *scanning* dari potensial rendah ke potensial tinggi sedangkan arus

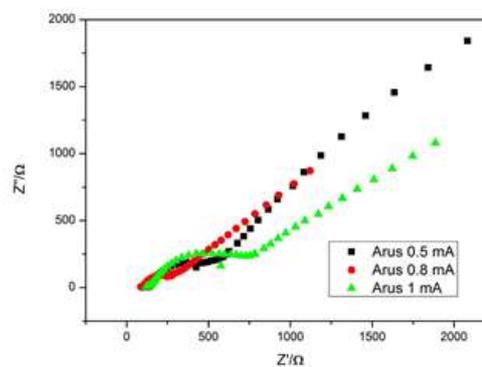
reduksi atau arus katodik adalah arus yang dihasilkan pada saat proses *scanning* dari potensial tinggi ke potensial rendah. Respon puncak arus oksidasi sebelum *discharge* lebih tinggi dibanding dengan setelah uji *discharge* untuk semua variasi arus dan respon puncak arus reduksi sebelum *discharge* lebih rendah dibanding dengan setelah uji *discharge* untuk semua variasi arus. Perbedaan puncak arus tersebut karena setelah *discharge* terdapat zat sisa yang menempel pada permukaan elektroda sehingga pori pori elektroda tertutup dan menghambat proses difusi (penyisipan) ion-ion kedalam pori pori elektroda.

### 3) Pengujian EIS

Hasil pengujian EIS terlihat pada gambar 4 data yang dihasilkan dalam bentuk grafik *nyquist plot* dimana sumbu x adalah impedansi real ( $Z'$ ) dan sumbu y adalah impedansi imajiner ( $Z''$ ) dan garis miring dengan sudut  $\pm 45^\circ$  adalah impedansi *warburg*. Pada kedua impedansi tersebut maka akan dapat dihitung parameter nilai resistansi dari elektrolit ( $R_s$ ) dan nilai resistansi transfer muatan ( $R_{ct}$ ).



(a)

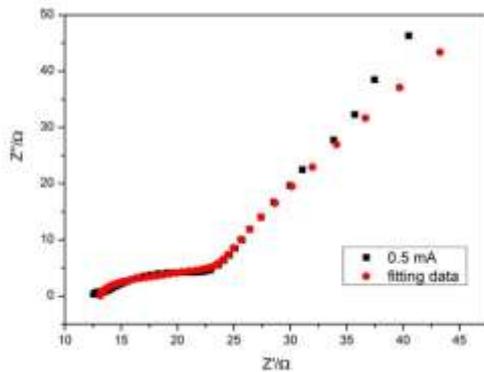


(b)

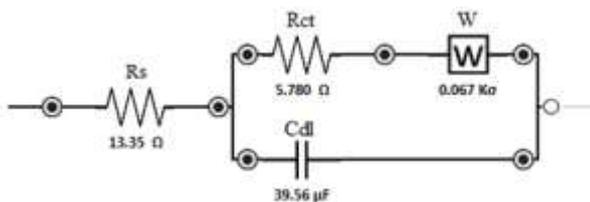
Gambar 4. Pengujian EIS (a) sebelum discharge, (b) setelah discharge

Gambar 4 menunjukkan bahwa semua sample (variasi arus 0.5 mA, 0.8 mA dan 1 mA) baik sebelum uji *discharge* dan setelah uji *discharge* memiliki bentuk grafik *semicircle* (setengah lingkaran) dan garis ke atas yang membentuk sudut  $\pm 45^\circ$ . Titik awal grafik menunjukkan hambatan larutan elektrolit baterai, grafik setengah lingkaran (*semicircle*) menunjukkan hambatan pada proses perpindahan ion pada antarmuka elektroda-elektrolit dan garis yang membentuk sudut  $\pm 45^\circ$  menunjukkan proses interkalasi (penyisipan) ion. Pada hasil EIS titik awal grafik sebelum *discharge* terlihat nilainya lebih tinggi dibanding dengan setelah *discharge* menunjukkan bahwa hambatan elektrolit menjadi lebih besar, hal itu disebabkan karena elektrolit baterai sudah habis setelah proses *discharge*. Kemudian, grafik *semicircle* ketika setelah *discharge* juga lebih besar dibanding dengan sebelum *discharge*, menunjukkan hambatan pada antarmuka elektroda menjadi tinggi, hal itu karena setelah *discharge* terdapat adanya zat sisa yang menutupi permukaan elektroda sehingga perpindahan ion pada antarmuka elektroda elektrolit menjadi terhambat.

Grafik pengujian EIS kemudian di fitting seperti pada gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Hasil fitting dan (b) rangkaian sirkit eqvalen dari variasi arus 0.5 mA sebelum discharge

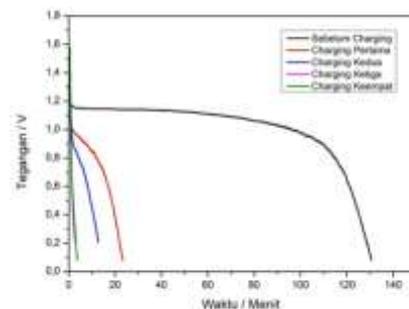
Tabel III. Parameter hasil uji EIS pada variasi arus

Sebelum Discharge				
	Rs	Rct	Cdl	W
0.5 mA	13.35 Ω	5.78 Ω	39.56 μF	0.067 Kσ
0.8 mA	7.727 Ω	0.562 Ω	8.979 μF	0.085 Kσ
1 mA	13.8 Ω	6.635 Ω	30.25 μF	0.088 Kσ
Setelah Discharge				
	Rs	Rct	Cdl	W
0.5 mA	135.6 Ω	227.5 Ω	55.15 μF	0.393 Kσ
0.8 mA	95.40 Ω	130.1 Ω	70.55 μF	0.218 Kσ
1 mA	137.4 Ω	523 Ω	30.63 μF	0.414 Kσ

Tabel III menunjukkan hasil fitting data EIS sebelum dan sesudah uji *discharge*, nilai resistansi elektrolit ( $R_s$ ) dan resistansi transfer muatan ( $R_{ct}$ ) semua sample menunjukkan kenaikan setelah uji *discharge*. Parameter  $W$  (impedansi *warburg*) juga mengalami kenaikan. Impedansi *warburg* mempunyai satuan  $K\sigma$ , dan  $\sigma$  merupakan koefisiensi *warburg* dengan satuan  $\Omega s^{-1/2}$ . Nilai resistansi larutan elektrolit menunjukkan kenaikan dikarenakan sebelum uji *discharge* larutan elektrolit masih dalam keadaan banyak dan ketika setelah uji *discharge* elektrolit mulai habis. Ketika elektrolit habis maka aliran ion ion selama proses reaksi kimia menjadi terganggu. Nilai resistansi transfer muatan ( $R_{ct}$ ) menunjukkan kenaikan karena selama uji *discharge* berlangsung, terjadi proses reaksi kimia, proses reaksi kimia tersebut menghasilkan zat sisa yaitu  $Al(OH)_3$  yang berupa padatan putih. Padatan putih ini akan menutupi permukaan elektroda baterai sehingga ion ion dari elektroda baterai terhambat alirannya karena adanya padatan putih pada permukaan elektroda baterai.

### B. Pengujian dengan Charging (Pengisian) kembali

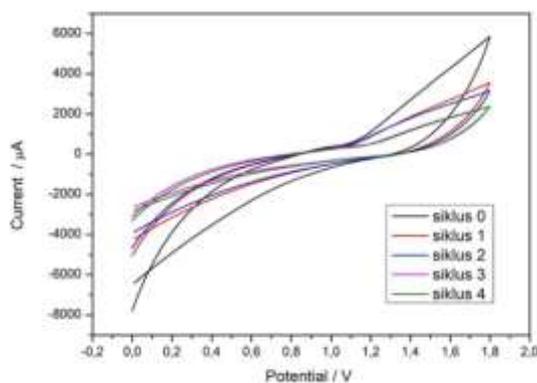
Pada pengujian dengan mengisi kembali (*charging*) baterai, dipilih arus 0,5 mA sebagai arus *discharge* pada alat BTS (*Battery Testing System*). Satu sel baterai yang sudah diuji *discharge* (pengosongan) kemudian *discharge* kembali dengan lama waktu *charging* selama 1 jam. Setelah *discharge* kemudian baterai *discharge* kembali dan setelah itu *discharge* kembali. Proses *charge* berlangsung sampai 4 kali *charging*.



Gambar 6. Pengujian dengan *charging* kembali

Gambar 6 menunjukkan pengujian *discharge* dengan 4 kali *charging*, saat pertama kali baterai dibuat kemudian diuji *discharge* (siklus 0), lama waktu *discharge* (pengosongan) adalah 2 jam 10 menit dan kapasitasnya 0,42 mAh. Saat *charge* pertama (siklus 1) lama waktu *discharge* adalah 23 menit dan kapasitasnya 0,038 mAh, *charge* kedua (siklus 2) lama waktu *discharge* adalah 12 menit dan kapasitasnya 0,027 mAh, *charge* ketiga (siklus 3) lama waktu *discharge* 2 menit dan kapasitasnya 0,15 mAh. *Charge* keempat (siklus 4) lama waktu *discharge* 3 menit dan kapasitasnya 0,11 mAh.

1) Pengujian CV



Gambar 7. Grafik pengujian CV

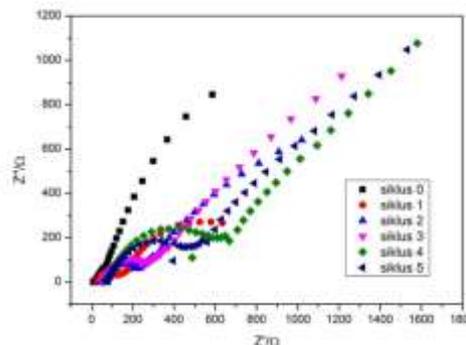
Gambar 7 merupakan grafik pengujian CV pada siklus 0 (sebelum *charging*), siklus 1 (*charging* pertama), siklus 2 (*charging* kedua), siklus 3 (*charging* ketiga) dan siklus 4 (*charging* 4). Terlihat hasil pengujian CV pada range 0.0 V sampai dengan 1.8 V.

Tabel IV. Parameter nilai uji Cyclic Voltammetry

	Arus (µA)		Tegangan (V)	
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi
Siklus 0	5861,709	-6408,48	1,79903	0,010039
Siklus 1	3558,673	-4207,89	1,79903	0,010039
Siklus 2	3156,889	-3871,34	1,79903	0,010039
Siklus 3	2382,646	-2612,05	1,79903	0,010039
Siklus 4	2376,542	-2800,4	1,79903	0,010039

Pada tabel IV Menunjukkan bahwa adanya penurunan respon arus oksidasi dan kenaikan respon arus reduksi seiring dengan proses *charging* kembali. Dan menunjukkan adanya penurunan daya seiring dengan proses *charging* kembali. Baterai yang sudah dipakai kemudian di *charging* dan dipakai lagi hasilnya tidak sebaik saat baterai baru pertama kali dipakai.

2) Pengujian EIS



Gambar 8. Grafik pengujian EIS

Gambar 8 Menunjukkan bahwa semua sample (siklus 0 (sebelum *charging* dan sebelum uji *discharging*), siklus 1 (sebelum *charging* dan sesudah uji *discharging*), siklus 2 (*charging* pertama), siklus 3 (*charging* kedua), siklus 4 (*charging* ketiga), siklus 5 (*charging* keempat)) memiliki grafik *semicircle* (setengah lingkaran) dan garis yang membentuk sudut 45°. Besar kecilnya grafik *semicircle* berpengaruh pada konduktifitas dan garis yang membentuk sudut 45° menunjukkan proses interkalasi (penyisipan) ion.

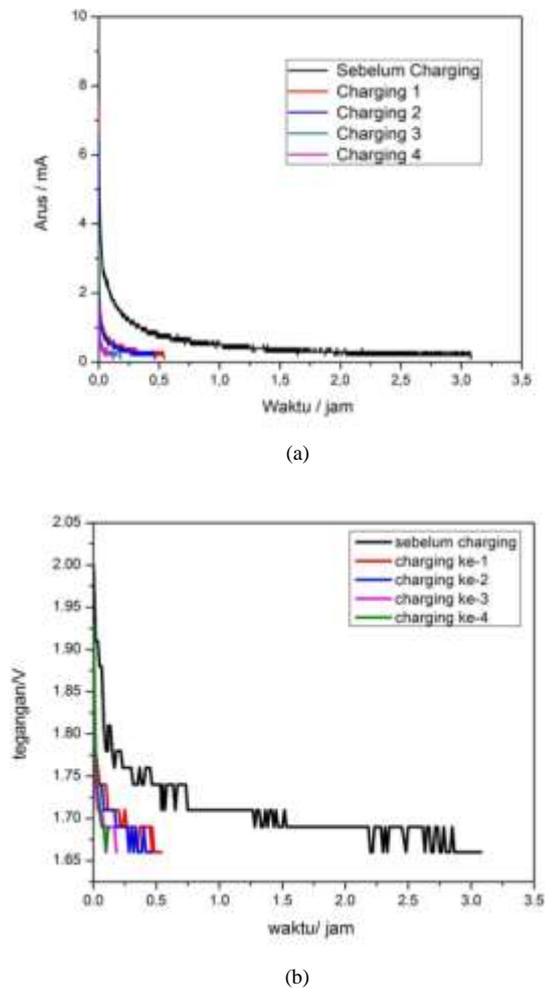
Tabel V. hasil fitting data pada variasi charging

	Rs	Rct	Cdl	W
Siklus 0	9.017 Ω	2.278 Ω	29.67 µF	0.088 Kσ
Siklus 1	30.01 Ω	83.80 Ω	66.62 µF	0.100 Kσ
Siklus 2	47.23 Ω	135.4 Ω	42.75 µF	0.175 Kσ
Siklus 3	53.40 Ω	152.4 Ω	48.41 µF	0.222 Kσ
Siklus 4	70.32 Ω	455.3 Ω	52.78 µF	0.278 Kσ
Siklus 5	75.58 Ω	334.7 Ω	48.64 µF	0.272 Kσ

Tabel V Merupakan hasil fitting data EIS, nilai resistansi larutan elektrolit (Rs) menunjukkan kenaikan terhadap semakin seringnya baterai di *charging* karena elektrolit dalam baterai seiringnya pemakaian perlahan habis dan ketika di *charging* reaksi kebalikannya tidak sempurna dan menghasilkan zat sisa berupa Al(OH)<sub>3</sub> yang berbentuk padatan putih, begitu juga dengan resistansi transfer muatan (Rct), semakin sering baterai di *charging* semakin besar nilai resistansi transfer muatannya karena adanya zat sisa yang menutupi pori pori elektroda sehingga menghambat pergerakan ion ion dari elektroda baterai. Semakin sering di *charging* maka waktu pengosongan semakin sebentar karena adanya kenaikan nilai tahanan dalam baterai yaitu dari tahanan larutan elektrolit (Rs) dan tahanan transfer muatan (Rct).

**C. Pengujian Beban Led Dengan Pengisian/Charging kembali**

12 sel baterai yang sudah diuji ke beban led kemudian *dicharging* kembali dengan lama waktu *charging* selama 1 jam. Setelah *dicharging* kemudian baterai dihubungkan lagi ke beban led dan setelah itu *dicharging* kembali. Proses *charging* berlangsung sampai 4 kali proses *charging*.



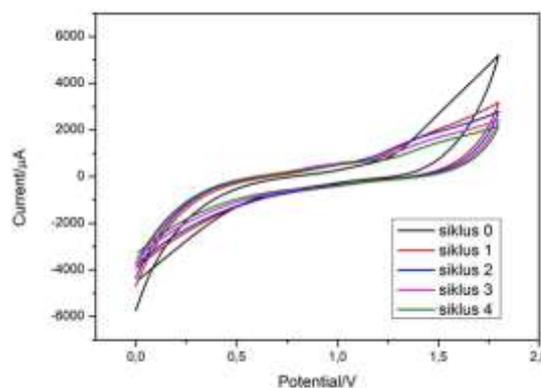
Gambar 9. Grafik pengujian arus (a) dan tegangan (b) dengan 4 kali *charging*

Gambar 9 merupakan grafik pengujian *discharging* dengan 4 kali *charging*, saat baterai baru atau pertama kali baterai dibuat kemudian diuji *discharging* lama waktu *discharging* (pengosongan) adalah 3 jam 5 menit dan memiliki kapasitas 1,69 mAh dan daya yang dihasilkan 18,69 mWatt. Saat *charging* pertama lama waktu *discharging*nya adalah 32 menit, memiliki kapasitas 0,25 mAh dan daya yang dihasilkan 14,47 mWatt, *charging* kedua lama waktu *discharging* nya adalah 28 menit, memiliki kapasitas 0,2 mAh

dan daya yang dihasilkan 12,94 mWatt, *charging* ketiga, lama waktu *discharging* nya 11 menit, memiliki kapasitas 0,065 mAh dan daya yang dihasilkan 7,8 mWatt. Dan *charging* keempat lama waktu *discharging*nya 7 menit kapasitas 0,038 mAh dan menghasilkan daya 3,14 mWatt.

Pengujian dengan *charging* kembali menunjukkan bahwa performa baterai mengalami penurunan baik dari kapasitas baterai dan daya yang dihasilkan. hal itu disebabkan karena resistansi internal baterai yang mengalami kenaikan setelah di *charge* berulang ulang dan menjadikan konduktivitas baterai menurun.

**1) Pengujian CV**



Gambar 10. Grafik pengujian CV variasi *charging* menggunakan beban led

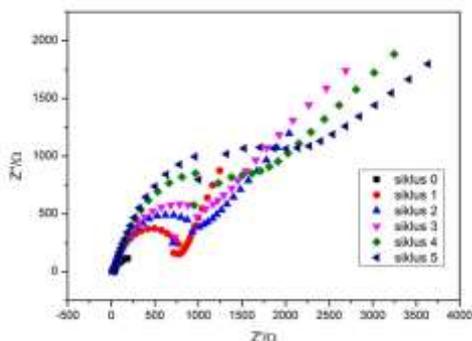
Gambar 10 merupakan grafik pengujian CV pada siklus 0 (sebelum *charging*), siklus 1 (*charging* pertama), siklus 2 (*charging* kedua), siklus 3 (*charging* ketiga) dan siklus 4 (*charging* 4). Terlihat hasil pengujian CV pada range 0.0 V sampai dengan 1.8 V.

Tabel VI. Parameter hasil uji *Cyclic Voltammetry*

	Arus (µA)		Tegangan (V)	
	Oksidasi	Reduksi	Oksidasi	Reduksi
Siklus 0	5209,59	-4441,2	1,79903	0,010039
Siklus 1	3180,25	-3867,7	1,79903	0,010039
Siklus 2	2796,83	-3752,1	1,79903	0,010039
Siklus 3	2427,99	-3462,2	1,79903	0,010039
Siklus 4	2174,12	-3263,2	1,79903	0,010039

Tabel VI Menunjukkan bahwa adanya penurunan pada respon arus oksidasi dan adanya kenaikan pada respon arus reduksi seiring dengan baterai di *charge* (diisi) kembali, Baterai mengalami penurunan daya sehingga baterai yang sudah berkali kali di *charge* kemampuannya tidak sebaik baterai pada saat pertama kali dipakai.

2) Pengujian EIS



Gambar 11. Grafik pengujian EIS

Gambar 11 Menunjukkan bahwa semua sample (siklus 0 (sebelum *charging* dan sebelum uji *discharging*). Siklus 1 (sebelum *charging* dan sesudah uji *discharging*). Siklus 2 (*charging* pertama). Siklus 3 (*charging* kedua). Siklus 4 (*charging* ketiga). Siklus 5 (*charging* keempat)) memiliki grafik *semicircle* (setengah lingkaran) dan garis yang membentuk sudut 45°. Besar kecilnya grafik *semicircle* berpengaruh pada konduktifitas dan garis yang membentuk sudut 45° menunjukkan proses interkalasi (penyisipan) ion.

Tabel VII. fitting data EIS variasi charging pada beban led

	Rs	Rct	Cdl	W
Siklus 0	7.275 Ω	5.211 Ω	65.13 μF	0.070 Kσ
Siklus 1	23.09 Ω	603.9 Ω	194.4 μF	0.174 Kσ
Siklus 2	26.75 Ω	802.3 Ω	77.5 μF	0.338 Kσ
Siklus 3	28.21 Ω	827 Ω	93.3 μF	0.507 Kσ
Siklus 4	30.22 Ω	1458 Ω	107.3 μF	0.588 Kσ
Siklus 5	30.56 Ω	1896 Ω	95.2 μF	0.624 Kσ

Tabel VII merupakan nilai dari fitting data pengujian beban dengan mengisi (*charging*) kembali baterai, Nilai Rs (resistansi larutan elektrolit) mengalami kenaikan setelah baterai *discharging* kembali, hal itu menandakan tahanan elektrolit baterai naik, karena disebabkan oleh larutan elektrolit yang mulai habis ketika digunakan ke beban. Nilai tahanan transfer muatan (Rct) juga menunjukkan kenaikan terhadap siklus *charging*, karena adanya zat sisa dari proses reaksi kimia yang terjadi sehingga zat sisa tersebut menghambat aliran ion dari elektroda. Nilai Rct dan Rs yang menunjukkan kenaikan menunjukkan bahwa baterai efektif untuk satu kali penggunaan.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian variasi arus pada arus 0.8 mA menunjukkan kapasitas maksimal baterai pada 0,59 mAh. Hasil pengujian EIS menunjukkan baterai sebelum *discharge* memiliki

resistansi internal lebih kecil dibanding dengan setelah *discharge*. Dan hasil pengujian CV menunjukkan sebelum *discharge* luasan kurva CV lebih besar dan respon arus lebih tinggi dibanding dengan setelah *discharge*. Pada pengujian beban LED, untuk pengujian dengan *charging* kembali, resistansi internal baterai cenderung meningkat sehingga waktu uji baterai dan daya suplai baterai terhadap beban LED berturut-turut menurun dari 185 menit menjadi 7 menit dan dari 18,69 mWatt menjadi 3,14 mWatt jika baterai melakukan pengulangan *charging* dari *charging* pertama sampai *charging* keempat, sehingga rugi-rugi daya sekitar 83,19% dari daya aslinya.

REFERENSI

- [1] Rahman, R. A. and Latifah, N. ‘Fabricated of Activated Carbon from Biomass Waste for Air Cathode Application’, 03(01), pp. 22–26, 2019.
- [2] Takarani, P. et al. ‘Pembuatan baterai seng udara dan uji performansi dengan perangkat arduino’, pp. 165–172, 2019.
- [3] Samhan, M. S. “Teknologi Baterai.” 1st edn. Yogyakarta, 2018
- [4] Yuan, H. and Dung, L. ‘Effect of External Resistance on SOH Measurement of LFP Cells’, 3. 2015
- [5] Fu, J. et al. ‘An Integrated Metal-Air Battery and Selective Electrolytic Leaching Cell for the Preparation of Nanoporous Metals’. doi: 10.1021/acsanm.8b00919. 2018.
- [6] Liu, Y. et al. ‘A comprehensive review on recent progress in aluminum e air batteries’, Green Energy and Environment. Elsevier Ltd, 2(3), pp. 246–277. doi: 10.1016/j.gee.2017.06.006. 2017.
- [7] Mardwianta, B. et al. ‘Pembangkitan energi listrik pada baterai udara dengan bahan karbon aktif dan elektrolit air laut’, III, pp. 0–7. 2017.
- [8] Widjonarko ‘Optimasi Kerja Baterai Charge-Discharge Pada Sistem Pengaturan Beban di BTS (Base Transceiver Station) Remote Area Menggunakan Pengaturan Beban Dinamis’. 2012
- [9] Harrington, D. A. “Electrochemical Impedance Spectroscopy.” Trendheim: Norwegian University of Science and Technology. 2014
- [10] S. K. W. Ningsih, "Studi Cyclic Voltamogram Lapisan Tipis MnO<sub>2</sub> DAN Li-Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada Substrat Kaca dengan Metoda Dip-Coating Melalui Proses Sol-Gel," Jurnal Sainstek VOL 07, NO 02, 2013, 2013.
- [11] Mulyani, Reni. et al. "Studi Voltametri Siklik Sodium Dedocyl Benzen Sulfonat dalam Berbagai



- Elektroda dan Elektrolit Pendukung," *Journal of Waste Management Technology*, vol. XV, 2012.
- [12] Oghara, N. et al. 'Impedance Spectroscopy Characterization of Porous Electrodes under Different Electrode Thickness Using a Symmetric Cell for High- Performance Lithium-Ion Batteries'. doi: 10.1021/jp512564f. 2015.
- [13] I. Maulana, Aripin and A. Chobir, "Studi Elektrokimia Baterai Alumunium-Udara dengan Silika Xerogel sebagai Bahan Elektroda," *Journal of Energy and Electrical Engineering*, vol. 1 No.1, 2019.
- [14] Instrument, G. 'Common Equivalent Circuit Models'. 2014.
- [15] Gunawan, Indra. Wahyudianingsih., Sudaryanto "Studi Electrochemical Impedance Spectroscopy dari Lembaran Polyvinyl Alcohol dengan Penambahan LiClO<sub>4</sub> Sebagai Bahan Elektrolit Li-ion," *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 2016.