

# Rancang Bangun dan Unjuk Kerja Baterai Aluminium-Udara sebagai Penggerak Kendaraan Listrik

Nico Wahyu Ananto<sup>1#</sup>, H. Aripin<sup>2#</sup>, Asep Andang<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>167002029@student.unsil.ac.id

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

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

**Abstrak**— Kebutuhan energi yang semakin meningkat membuat para peneliti meningkatkan teknologi energi terbarukan dan ramah lingkungan. Mesin kendaraan listrik menjadi solusi untuk mengatasi efek rumah kaca yang menggunakan sumber energi berupa baterai. Baterai aluminium-udara menjadi pengembangan lanjut karena memiliki densitas besar, ramah lingkungan, dan murah. Baterai aluminium-udara pada penelitian ini dirancang dan dibuat berbentuk segi empat dengan ukuran panjang 8 cm, lebar 7 cm, dan tebal 0,8 cm. Strukturnya terdiri dari anoda plat aluminium, elektrolit KOH, membran tisu, dan lapisan aktif TiO<sub>2</sub> sebagai katoda udara.. Unjuk kerja baterai dilakukan untuk mengetahui kapasitas arus yang dihasilkan, dan karakteristik dari baterai. Pengujian *discharging* satu sel menggunakan BTS (*Battery Testing System*) untuk mengetahui kapasitas arusnya. Baterai disusun 12 sel secara seri dan paralel menjadi bertegangan 3 Volt untuk diuji menyalakan motor DC n20, dan dianalisa karakteristiknya, dan waktu lamanya baterai habis. Baterai diuji ke beban motor DC menggunakan alat ukur yang dibuat menggunakan Arduino Uno dengan beberapa sensor untuk mengukur tegangan dan arus secara *real time* hingga motor DC tidak berputar. Kecepatan rotasi (RPM) diukur menggunakan tachometer. Karakteristik baterai diketahui dari hambatan internal baterai dan karakteristik elektrokimia yang diukur menggunakan alat *palmsense*. Baterai aluminium-udara diuji *discharging* dengan arus konstan 5 mA yang menghasilkan kapasitas baterai sebesar 137,6 mAh dalam pengujian satu sel baterai. Baterai sebelumnya yang menggunakan bahan silika xerogel memiliki kapasitas sebesar 0,59 mAh. Penelitian ini menggunakan bahan katalis utama berupa titanium dioksida. 12 sel baterai aluminium-udara mampu menyalakan motor DC tipe n20 selama 12,9 menit.

**Kata kunci:** baterai aluminium-udara, *palmsense*, BTS, arduino uno, motor DC

*Abstract*— *Energy requirements increase and make the researcher try to make renewable energy technology and environmental friendly. Electrical vehicle machine are the solution for the greenhouse effect and use batteries for resources. Aluminium-air battery good to be further development because have a big density,*

*environmental friendly, and cheap. The aluminium-air battery in this research is designed and made in a rectangular shape with a length of 8 cm, a width of 7 cm, and a thickness of 0.8 cm. The structure consist of an aluminium plate as anode, KOH electrolyte, membrane tissue, and TiO<sub>2</sub> active layer as oxygen cathode. Work method battery has done for knowing capacity and battery characteristics. The battery is tested using BTS (Battery Testing System) for knowing the capacity. Battery packing into 12 cell in series and parallel connection to have 3 Volt for turn on DC motor, analyze characteristic, and long time battery empty. Measuring battery to DC motor load with Arduino Uno with a few sensor to measure voltage and current, in real time until DC motor cant rotate again. Rotation Speed (RPM) measured by tachometer. Internal resistance battery and electrochemical characteristic measure by *palmsense*. Aluminium-air battery has measured by discharging with current constant 5 mA and have capacity 137,6 mAh in one cell measurement. Previous research, the aluminium-air battery using silica xerogel for main material have the capacity 0,59 mAh. This researc uses titanium dioxide for the main material. In system measurement, 12 aluminium-air battery can turn on DC motor n20 in 12,9 minutes.*

**Keywords:** aluminium-air battery, *palmsense*, BTS, arduino uno, DC motor

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi di dunia, berkesinambungan dengan krisisnya penggunaan bahan bakar fosil menjadi permasalahan serius untuk dicari solusinya [1]. Pengubahan penggunaan bahan bakar fosil dengan energi terbarukan menjadi salah satu opsi untuk menekan emisi gas [2].

Energi terbarukan merupakan energi yang didapatkan dari sumber yang tidak terbatas, murah, bersih, efisiensi dan stabilitas tinggi diantaranya angin, panas matahari, panas bumi, aliran air, dan biomassa [3]. Salah satu pengaplikasian energi angin menggunakan turbin yang berputar, dimana mengubah energi mekanik menjadi energi listrik untuk digunakan pada pengecasan baterai dan pompa air. Agar tidak terbuang energi

listrik yang dihasilkan, maka diperlukan suatu penyimpanan untuk menyimpan energi listrik tersebut.

Pengubahan energi tidak terbarukan dengan energi terbarukan digunakan sebagai teknologi yang ramah lingkungan. Mesin kendaraan listrik berpotensi menjadi solusi untuk mengatasi efek rumah kaca dibandingkan dengan mesin kendaraan berbahan bakar minyak [4]. Kendaraan listrik dapat melaju melalui sumber penyimpanan energi listrik berupa baterai yang memiliki densitas daya tinggi [4]. Teknologi baterai dibutuhkan untuk mampu melajukan kendaraan listrik yang membutuhkan kapasitas energi yang besar.

Baterai merupakan alat penyimpanan energi listrik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan salah satu media pengubah besaran energi kimia menjadi energi listrik melalui proses reaksi reduksi dan oksidasi. Pada umumnya terdapat dua jenis baterai yang terdapat dipasaran, yaitu baterai sekunder dan baterai primer [5].

Baterai logam-udara menjadi pengembangan lanjut karena memiliki densitas energi yang besar, ramah lingkungan, dan murah [6]. Secara teoritis, baterai aluminium-udara memiliki kapasitas energi 2796 Wh/kg, dan elektroda aluminium sendiri memiliki kapasitas arus mencapai 2980 mAh/g. Baterai aluminium-udara memiliki tegangan teoritis sebesar 2,7 V [7].

Penelitian baterai aluminium-udara dilakukan pada beban statis yang diukur hambatan internal resistansi sebelum dan sesudah proses *discharging*. Pengujian *discharging* baterai menggunakan alat BTS (*Battery Testing System*) dengan arus konstan 0.5 mA, 0.8 mA, dan 1 mA dengan bahan aktif silika xerogel [8]. Karbon aktif menjadi salah satu bahan yang bisa digunakan sebagai bahan untuk baterai aluminium-udara [9].

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan baterai dengan bahan titanium dioksida untuk mengetahui kapasitas yang dihasilkan dan karakteristik dari baterai. Satu sel baterai diuji menggunakan alat BTS dengan arus konstan 5 mA dan dilanjutkan dengan pengujian beberapa sel baterai yang dihubungkan secara seri dan paralel ke beban dinamis yaitu motor DC. Hambatan internal baterai diukur menggunakan PALMSENSE yang dilakukan pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dan CV (*Cyclic Voltammetry*). Dari pengujian EIS dapat diketahui parameter  $R_{ct}$  (hambatan transfer muatan), dan pengujian CV diketahui parameter arus reduksi dan arus oksidasi.

## II. METODE

Alur penelitian dilakukan berdasarkan *flowchart* yang telah disusun. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di lokasi studi yaitu di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Siliwangi, Jalan Siliwangi No.24, Kota Tasikmalaya.



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur yang akan dilakukan dalam penelitian. Perencanaan untuk membangun sistem baterai diawali dengan pembacaan literatur mengenai baterai yang telah dibuat sebelumnya, bahan-bahan yang digunakan, serta bahan yang memiliki potensi besar sebagai bahan aktif/bahan katalis utama dari baterai aluminium-udara. Setelah ditentukan bahan yang akan digunakan, dilakukan penentuan ukuran baterai. Ukuran plat aluminium dan banyaknya elektrolit yang digunakan ditentukan menggunakan rumus [10]:

$$mi = \frac{\xi QM}{n_e F} \quad (1)$$

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2)$$

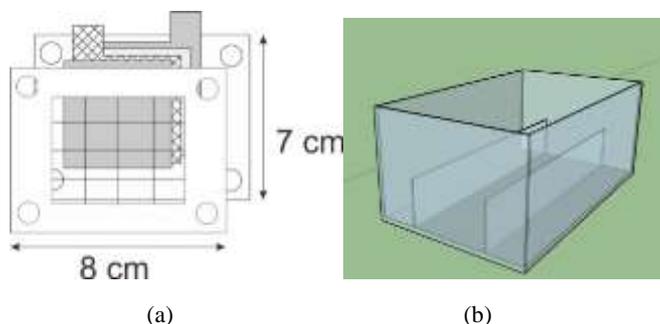
Dengan,  $mi$  adalah massa spesies  $i$  yang diproduksi atau dikonsumsi pada elektroda gram.  $Q$  (arus dalam A x waktu dalam detik) adalah total muatan listrik yang ditransfer ke atau dari elektroda dalam Coloumb (C) dan  $F$  adalah konstanta Faraday.  $n_e$  adalah nomor ber mol elektron dan  $M$  adalah berat molekul. Energi yang dihasilkan baterai aluminium-udara merupakan hasil perkalian dari tegangan (V), arus (I), dan waktu (t). Kapasitansi merupakan perkalian dari permeabilitas ( $\epsilon$ ) dengan luas permukaan (A) yang dibagi dengan jarak antar elektroda (d).

Perencanaan menggunakan rumus 1 dan 2, dirancang baterai aluminium-udara dengan tegangan teoritis 2,7 V dan kapasitas arus sebesar 600 mAh. Sehingga menghasilkan luas

permukaan baterai yang dibutuhkan seluas 30 cm<sup>2</sup> dan elektrolit sebanyak 1 mL.

Bahan katalis utama yang digunakan untuk baterai aluminium-udara yaitu titanium-dioksida dan karbon *black* sebagai bahan katalis berpori yang menyerap udara. Dari hal tersebut, akan dilakukan pemilihan bahan yang tepat dan mampu diaplikasikan. Bahan yang akan digunakan sebagai elektrolit adalah KOH (Potasium-hidroksida) untuk baterai aluminium-udara, nikel mesh sebagai *current collector*, plat aluminium sebagai anoda, tisu *truwipes* sebagai separator, kain goretex sebagai penutup nikel mesh, *casing* baterai menggunakan bahan akrilik dengan ukuran 7x8 cm.

Pembuatan *current collector* sebagai kutub positif baterai menggunakan nikel mesh 100 yang dipotong 5x6 cm. Titanium-dioksida 4 gram dan karbon *black* 0,5 gram dicampur dengan larutan NMP 10 mL yang telah melarutkan PVDF sebanyak 0,5 gram. Bahan campuran tadi digunakan untuk melapisi nikel mesh, dikeringkan selama 2 hari dibawah terik matahari dan dipanaskan pada *furnace* selama 24 jam dalam suhu 105°C.

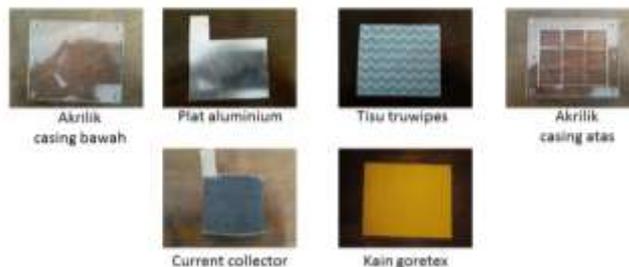


Gambar 2. (a) Desain Unit (b) Desain Modul

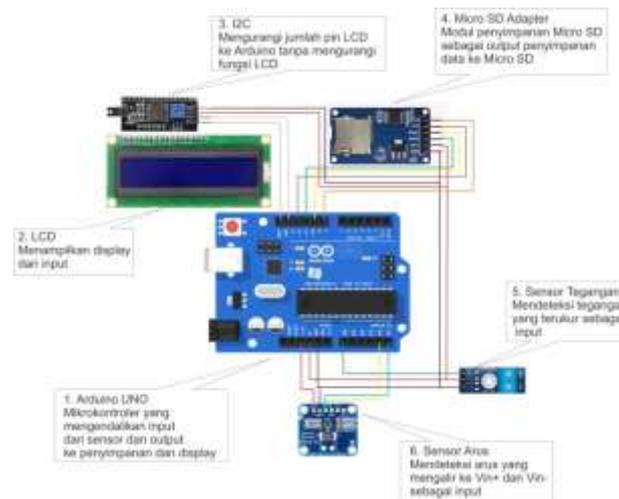
Gambar 2 menunjukkan desain satu sel baterai dan desain modul baterai yang berukuran 20x14x12 cm. Satu sel baterai diuji menggunakan alat BTS (*Battery Testing System*) untuk pengujian *discharging* baterai. Sedangkan pengujian sistem baterai aluminium-udara menggunakan alat PALMSENSE, tachometer dan alat ukur yang telah dibuat menggunakan Arduino dengan sensor tegangan dan sensor arus.

Penyusunan komponen baterai diawali dengan akrilik *casing* bawah, plat aluminium, tisu *truwipes* yang menyerap elektrolit, *current collector*, kain goretex, dan akrilik *casing* atas.

Gambar 4 merupakan alat pengukuran untuk mengukur tegangan, dan arus. Baterai aluminium-udara yang telah disusun secara seri dan paralel diuji ke beban motor DC secara real time menggunakan alat pengukuran yang telah dibuat.



Gambar 3. Susunan Komponen Baterai Aluminium-udara



Gambar 4. Desain Alat Ukur untuk Pengujian Sistem

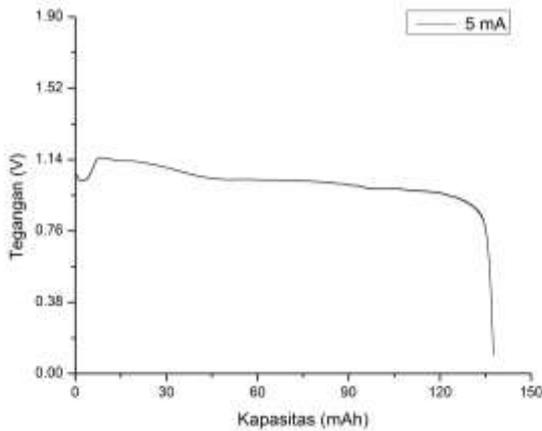
Satu sel baterai aluminium-udara yang tiap komponennya telah disusun, diuji menggunakan alat BTS (*Battery Testing System*) untuk mengetahui kapasitas arus. Dari grafik *discharge* baterai yang dihasilkan, baterai disusun secara seri dan paralel sesuai spesifikasi dari motor DC n20 dengan tegangan sebesar 3 V dan arus 20 mA. Untuk mengetahui unjuk kerja baterai dilakukan pula pengujian yang menggunakan alat PALMSENSE, dimana menghasilkan grafik EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dan CV (*Cyclic Voltammetry*). Terdapat 3 *probe* pada alat ukur PALMSENSE diantaranya WE (*Working Electrode/Elektroda Kerja*), CE (*Counter Electrode/Elektroda Konter*), dan RE (*Reference Electrode/Elektroda Referensi*). Pengujian ini dilakukan pada setiap sel baterai aluminium-udara sebelum dan sesudah dilakukan *discharging* ke motor DC.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Satu Sel Baterai

Pengujian satu sel baterai aluminium-udara dilakukan untuk mengetahui kapasitas yang dihasilkan. Alat ukur yang digunakan adalah BTS *Neware*. Pengujian *discharging* terhadap baterai aluminium-udara menggunakan arus konstan

*discharge* sebesar 5 mA hingga baterai habis kapasitasnya dari tegangan maksimum baterai ke batas minimum tegangan yang diatur sebesar 0,08 V.



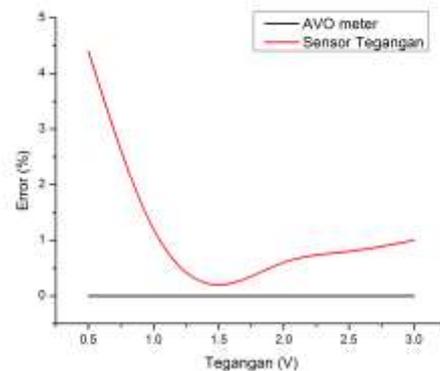
Gambar 5. Grafik *Discharge*

Gambar 5 menampilkan nilai kapasitas dalam pengujian *discharging* baterai dengan arus konstan sebesar 5 mA. Dimana, baterai cenderung stabil di tegangan 1 V. Baterai dengan arus konstan 5 mA menghasilkan kapasitas arus sebesar 137,62 mAh. Kapasitas arus dihasilkan dari perkalian arus yang dialiri oleh baterai dengan waktu lamanya baterai mencapai batas minimum tegangan yang ditentukan, dimana pengaturan batas minimum tegangan yaitu 0,08 V. Bentuk grafik *discharging* sesuai dengan teori yang memiliki tegangan *cut off* (batas tegangan baterai dalam memberikan arus pada beban sebelum tegangan turun secara curam) [11]. Tegangan *cut off* pada baterai aluminium-udara yang telah diuji sebesar 0,93 V.

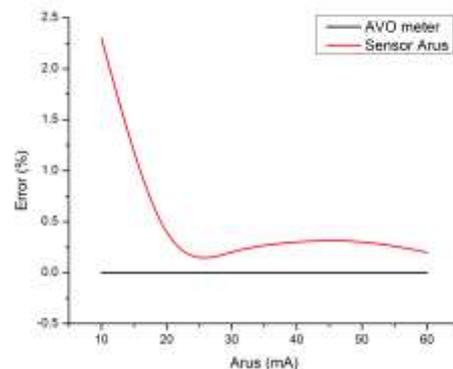
### B. Alat Ukur untuk Pengujian Sistem

Sebelum pengujian sistem pada motor DC, dilakukan pembuatan alat ukur untuk mengukur tegangan dan arus yang mengalir dari baterai ke beban menggunakan sensor tegangan dan sensor arus. Alat yang telah dirangkai perlu diuji agar sama dengan alat ukur yang sudah valid yaitu AVO meter sehingga dilakukan uji validasi dan nilai error.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan nilai error yang semakin menurun seiring besarnya tegangan yang diuji. Dimana diawali dengan tegangan 0,5 V memiliki nilai error sebesar 4,4% menurun hingga pada tegangan 3 V menjadi 1%. Dapat disimpulkan, semakin besar tegangan yang terukur pada sensor, semakin kecil nilai error yang dihasilkan.



Gambar 6. Grafik Nilai Error Sensor Tegangan terhadap AVO meter



Gambar 7. Grafik Nilai Error Sensor Arus terhadap AVO meter

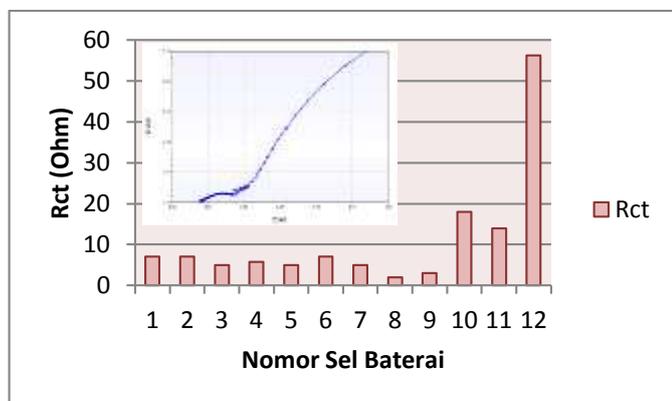
Gambar 7 menunjukkan grafik yang sama seperti pada grafik nilai error sensor tegangan, dimana nilai error sensor arus menurun dari 2,3% pada pengukuran arus 10 mA hingga 0,2% pada arus 30 mA. Sempat mengalami kenaikan nilai error pada arus 40-50 mA sebesar 0,3% dan tetap turun menjadi 0,2% pada pengukuran arus 60 mA. Dapat disimpulkan sesuai dengan Gambar 7, dimana bahwa semakin besar arus yang mengalir pada sensor maka semakin kecil nilai error yang terukur pada sensor arus.

Dari grafik nilai error sensor tegangan dan sensor arus berada dibawah 5% dan telah diuji validasi sehingga alat ukur yang dibuat bisa digunakan untuk mengukur baterai aluminium-udara untuk menyalakan beban motor DC secara *realtime* setiap 3 detik sekali. Alat pengukuran mengambil data tegangan dan arus. Untuk pengukuran kecepatan rotasi motor menggunakan *sensorless* tachometer Lutron DT-2236.

### C. Pengujian Baterai pada Motor DC n20

Dalam pengujian sistem menggunakan 12 sel baterai aluminium-udara untuk menyalakan motor DC n20. Pengujian diawali dengan EIS dan CV untuk kedua belas baterai sebelum

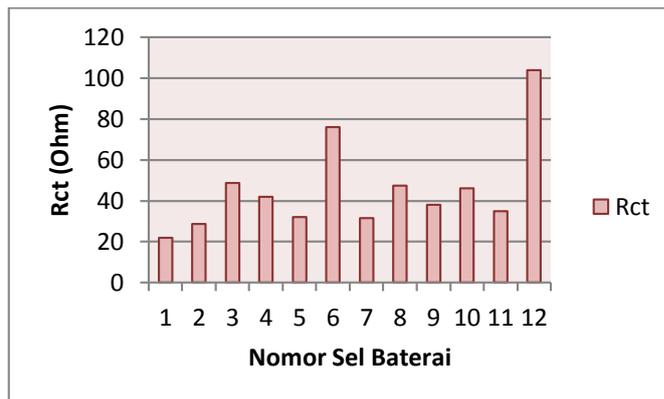
diuji ke motor DC, setelah baterai habis dan tak bisa menggerakkan motor DC kembali baterai diuji EIS dan CV kembali. 12 baterai diuji langsung ke motor dan direkam oleh alat pengukuran secara *real time* untuk mendapatkan data tegangan dan arus yang masuk serta disimpan ke *module micro SD*. Motor DC n20 memiliki spesifikasi tegangan 3 V dan arus 20 mA.



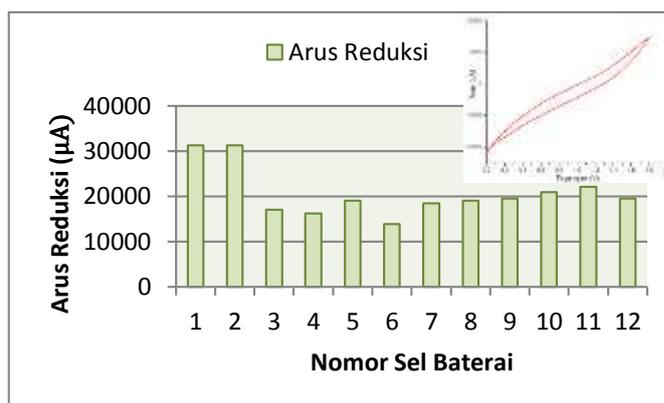
Gambar 8. Nilai Rct pada Uji EIS sebelum *discharging*

Gambar 8 menunjukkan grafik diagram batang dari nilai Rct keseluruhan baterai aluminium-udara sebelum pengujian ke beban motor DC n20. Dari kedua belas sel baterai yang diuji EIS sebelum *discharging* mendapatkan hasil grafik untuk setiap selnya. Di pojok kiri Gambar terdapat salah satu contoh grafik EIS dari satu sel baterai, Awal mula grafik terbentuk pada titik perpotongan sumbu x merupakan hambatan larutan ( $R_s$ ). Pembentukan *semi circle* (setengah lingkaran) terdapat dua jenis hambatan, yaitu CPE (*Constanta Phase Element*) dan panjang diameter setengah lingkaran ialah Rct (hambatan transfer elektron/*resistance charge transfer*). Garis lurus simetri yang membentuk sudut  $45^\circ$  ialah difusi ion elektrolit yang masuk pada pori-pori elektroda. Dari Gambar 8, nilai Rct berbeda untuk setiap selnya. Dimana Rct terkecil pada sel nomor 8 yang bernilai  $2 \Omega$  sedangkan yang terbesar pada sel nomor 12 dengan nilai Rct sebesar  $56,24 \Omega$ .

Gambar 9 menunjukkan grafik diagram batang nilai Rct baterai aluminium-udara setelah pengujian *discharging* ke beban motor DC n20. Dari kedua belas sel baterai yang diuji EIS setelah *discharging* mendapatkan hasil grafik untuk setiap selnya. Nilai Rct bertambah besar dari sebelum *discharging* ke setelah *discharging*. Penambahan nilai Rct diakibatkan banyaknya zat sisa hasil reaksi reduksi-oksidasi baterai yang mengendap di elektroda dan keringnya elektrolit baterai sehingga mengakibatkan sulitnya elektron berpindah dari elektroda ke elektrolit [8].

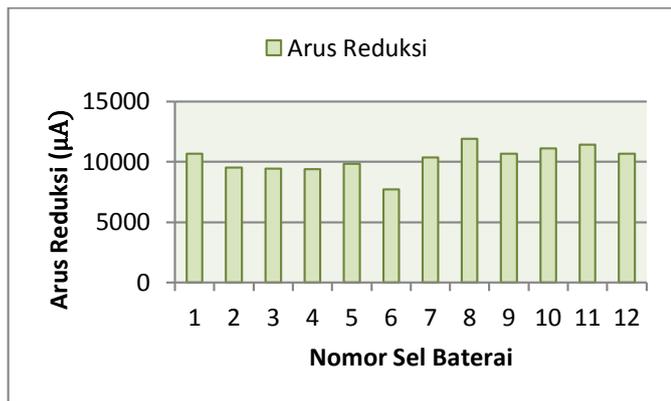


Gambar 9. Nilai Rct pada Uji EIS setelah *discharging*



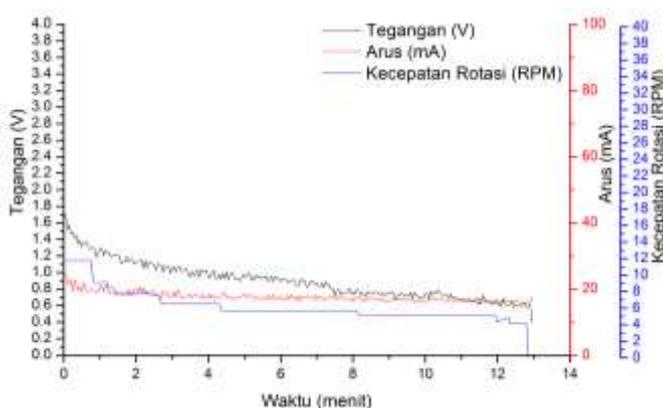
Gambar 10. Nilai arus reduksi Uji CV sebelum *discharging*

Gambar 10 merupakan grafik batang besarnya arus reduksi ke 12 baterai aluminium-udara pada pengujian CV (*Cyclic Voltammetry*) sebelum uji *discharging* ke beban motor DC n20. Grafik CV menjelaskan karakteristik elektrokimia berupa arus reduksi dan arus oksidasi dari nilai puncak arus yang terukur pada grafik CV dalam satuan laju tegangan. Dalam grafik CV yang terbentuk, terdapat satuan respon arus (sumbu y) terhadap fluktuasi tegangan yang berubah (sumbu x) seperti terlihat di pojok kanan pada Gambar 10. Tegangan jendela yang diatur akan menghasilkan grafik berbentuk histeresis, dimana terdapat puncak arus oksidasi pada tegangan 1,79 V dan puncak arus reduksi pada tegangan 0,01 V. Grafik CV sebelum uji *discharge* menghasilkan nilai arus reduksi-oksidasi yang berbeda. Arus reduksi pada grafik CV terkecil sebelum uji *discharge* ialah sel nomor 6 yaitu memiliki nilai arus reduksi  $(-13848,59) \mu A$ , sedangkan yang terbesar pada sel nomor 1 dengan nilai  $(-31235,09) \mu A$ . Negatif menandakan arah arus yang keluar dari baterai.



Gambar 11. Nilai arus reduksi Uji CV setelah *discharging*

Gambar 11 menjelaskan grafik batang besarnya arus reduksi ke 12 baterai aluminium-udara pada pengujian CV setelah uji *discharging* ke beban motor DC n20. Nilai arus reduksi terkecil (-7705,49)  $\mu\text{A}$  sedangkan terbesar (-11904,52)  $\mu\text{A}$ . Perubahan nilai arus reduksi mengalami penurunan dari sebelum ke sesudah *discharging*. Proses *discharging* pada ke 12 baterai aluminium-udara menyebabkan penurunan nilai arus reduksi disebabkan baterai telah habis kapasitasnya saat digunakan ke beban motor DC. Maka semakin kecil arus reduksi akan semakin pelan RPM dari motor DC. Hal ini dapat dibuktikan ketika pengujian CV yang dilakukan sebelum dan sesudah pengujian *discharging* ke motor DC.



Gambar 12. Grafik *Discharge*

Pada Gambar 12 diperlihatkan 3 data diantaranya tegangan, arus, dan RPM terhadap waktu, grafik tersebut menggambarkan grafik *discharging* baterai aluminium-udara secara *real time* setiap 3 detik sekali menggunakan Arduino UNO R3 dengan sensor tegangan dan sensor arus INA219, namun pengukuran kecepatan rotasi motor DC diukur menggunakan *sensorless* tachometer DT2336. Baterai aluminium-udara yang baru *diassembly* mampu menyalakan motor DC n20 selama 12,9 menit. Diawali dengan tegangan

1,57 Volt ketika sesaat dihubungkan dengan beban yang terus turun hingga mencapai batas minimum tegangan 0,39 V. Arus pada motor turun secara landau dari 21,7-17,9 mA yang diikuti dengan kecepatan putar motor 11-4,18 RPM.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil pengujian *discharging* baterai aluminium-udara pada arus konstan 5 mA menghasilkan kapasitas yaitu 137,62 mAh. Hambatan internal dalam baterai aluminium-udara mengalami peningkatan nilai  $R_{ct}$  dari sebelum pengujian *discharging* (2  $\Omega$ ) ke setelah pengujian *discharging* (47,58  $\Omega$ ) terhadap beban motor DC n20. Arus reduksi pada pengujian *Cyclic Voltammetry* mengalami penurunan dari sebelum pengujian *discharging* (-13848,59  $\mu\text{A}$ ) ke setelah pengujian *discharging* (-7705,49  $\mu\text{A}$ ) terhadap beban motor DC n20. Baterai mampu menyalakan motor DC n20 selama 12,9 menit. Pengaruh *discharging* baterai mengalami peningkatan nilai  $R_{ct}$  dan penurunan nilai arus reduksi.

#### V. SARAN

Pengembangan selanjutnya baterai aluminium-udara sebaiknya dilakukan penambahan elektrolit kembali setelah baterai habis dengan cara menyuntikkan elektrolit ke separatornya.

#### REFERENSI

- [1] A. G. Olabi *et al.*, "Metal-Air Batteries — A Review," 2021.
- [2] B. Hartweg, "Global Implementation of Renewable Energy," pp. 81–90, 2017, doi: 10.1021/bk-2017-1254.ch007.
- [3] J. Langer, J. Quist, and K. Blok, "Review of renewable energy potentials in indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system," *Energies*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14217033.
- [4] T. T. Lie, K. Prasad, and N. Ding, "The electric vehicle: a review," *Int. J. Electr. Hybrid Veh.*, vol. 9, no. 1, p. 49, 2017, doi: 10.1504/ijehv.2017.10003709.
- [5] P. et All, "Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi," *Fisika*, vol. 16, pp. 1–6, 2019.
- [6] T. OKOBIRA, D. T. NGUYEN, and K. TAGUCHI, "Simplification of Aluminum Air Battery by Gelation Electrolyte and Investigation of Material for Cathode Electrode," *J. Japan Soc. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 27, no. 1, pp. 108–114, 2019, doi: 10.14243/jsaem.27.108.
- [7] Y. Ma *et al.*, "Flexible and Wearable All-Solid-State Al-Air Battery Based on Iron Carbide Encapsulated in Electrospun Porous Carbon Nanofibers," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 11, no. 2, pp. 1988–1995, 2019, doi: 10.1021/acsami.8b14840.
- [8] H. A. Munadi and N. Hiron, "Studi Analisis Rugi-rugi Baterai Tipe Aluminium Udara pada Beban Listrik Statis," vol. 02, no. 2, pp. 63–70, 2021.
- [9] I. Maulana, Aripin, and A. Chobir, "Studi Elektrokimia Baterai Aluminium-," vol. 01, no. 01, pp. 25–28, 2019.
- [10] B. Sundén, "Electrochemistry and thermodynamics," *Hydrog.*



*Batter. Fuel Cells*, pp. 15–36, 2019, doi: 10.1016/b978-0-12-816950-6.00002-6.

- [11] E. Soylu, T. Soylu, and R. Bayir, “Design and implementation of SOC prediction for a Li-Ion battery pack in an electric car with an embedded system,” *Entropy*, vol. 19, no. 4, 2017, doi: 10.3390/e19040146.