

# STUDI ELEKTROKIMIA BATERAI ALUMINIUM-UDARA DENGAN SILIKA XEROGEL SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA

Iman Maulana<sup>1</sup>, Aripin<sup>2</sup>, Abdul Chobir<sup>3</sup>  
Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia<sup>1,2,3</sup>  
email: 157002035@student.unsil.ac.id<sup>1</sup>

## Abstract

An aluminum-air battery using a mixture of silica xerogel, graphite and carbon black has been made and a battery discharge characteristics has been investigated. Silica xerogel is prepared without sintering and with sintering at 800oC, 1000oC and 1150oC. The mixture was dissolved with acetone and then sprayed on the surface of the nickel mesh air cathode with dimensions of 6 x 5 cm to obtain a coating attached to the nickel mesh. The test results show that the capacity and energy density of the battery increases with increasing the sintering temperature from 104,52 mAh/g to 140,9 mAh/g and 57,57 mWh /g to 65,25 mWh/g respectively. By combining 4 cells in serie, it can turn on the LED light for 20 hours.

**Keywords:** Aluminium-air battery, Discharging, Energy Density, Silica Xerogel, Sintering Temperature, Theoretical Capacity.

## Abstrak

Baterai aluminium-udara menggunakan campuran silika xerogel, grafit dan karbon hitam telah dibuat serta karakteristik pengosongan baterai telah diselidiki. Silika xerogel disiapkan tanpa pembakaran dan dengan pembakaran pada 800oC, 1000oC dan 1150oC. Campuran dilarutkan dengan aseton kemudian disemprotkan pada permukaan katoda udara nikel mesh dimensi 6 x 5 cm untuk memperoleh lapisan yang melekat pada nikel mesh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas teoritis dan rapat energi baterai naik berdasarkan kenaikan temperatur pembakaran silika berturut-turut dari 104,52 mAh/g sampai 140,9 mAh/g dan 57,57 mWh/g sampai 65,25 mWh/g. Dengan menggabungkan 4 sel secara seri dapat menyalakan lampu LED selama 20 jam.

**Kata Kunci:** Baterai Aluminium-udara, Kapasitas Teoritis, Pengosongan, Rapat Energi, Silika Xerogel.

## I. PENDAHULUAN

Penelitian tentang baterai aluminium-udara menjadi kandidat untuk integrasi sumber energi terbarukan. Baterai aluminium-udara sebagai alternatif untuk pengembangan pembangkit dan penyimpan energi listrik karena harga yang murah dan memiliki kapasitas teoritis yang tinggi. Aluminium termasuk bahan yang murah, melimpah dan logam yang ramah lingkungan karena dapat didaur ulang [1].

Baterai aluminium-udara menghasilkan energi listrik dari proses elektrokimia. Elektroda positif (katoda) dibuat untuk menyerap oksigen di udara, elektroda negatif (anoda) ini dinamakan katoda udara. Baterai aluminium-udara terdiri dari aluminium sebagai anoda, material karbon sebagai lapisan katoda udara (katoda) dan larutan elektrolit. Katoda udara tersusun atas material karbon berpori, binder, current collector dan katalis [2].

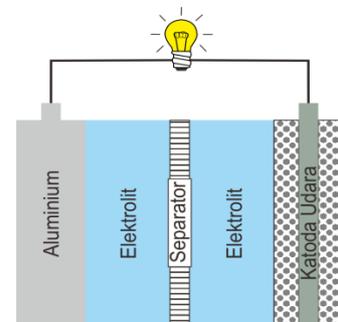
Ukuran pori dan luas permukaan material karbon pada katoda udara menentukan daya serap oksigen (O<sub>2</sub>) beserta air (H<sub>2</sub>O). Ukuran pori yang besar membuat luas permukaan material karbon menjadi luas sehingga oksigen dan air memiliki konsentrasi yang besar. Ketika konsentrasi oksigen dan air besar memungkinkan produksi ion OH<sup>-</sup> hasil dari reaksi reduksi di katoda udara semakin banyak sehingga pada saat reaksi oksidasi aluminium melepas elektron menjadi ion Al<sup>3+</sup> untuk mengikat ion OH<sup>-</sup> semakin cepat. Proses reaksi kimia yang terlalu cepat dapat menurunkan rapat energi baterai aluminium-udara, karena proses reaksi kimia menghasilkan endapan oksida atau korosi pada logam berupa Al(OH)<sub>3</sub>. Endapan oksida menempel pada sistem katoda udara dan menyumbat pori material karbon sehingga menghambat oksigen masuk pada sistem baterai dan menghambat pertukaran ion untuk melepas dan menangkap elektron [3]. Material karbon yang digunakan merupakan

paduan antara silika xerogel, grafit dan karbon hitam yang bertindak untuk membatasi produksi korosi logam anoda agar tidak masuk pada sistem elektroda katoda udara.

Diperlukan bahan penyusun katoda udara baterai aluminium-udara dengan ukuran pori yang optimal sehingga kinerja pengosongan baterai menghasilkan kapasitas dan rapat energi maksimal. Katoda udara menggunakan bahan silika xerogel tanpa pembakaran dan dengan pembakaran pada temperatur 800oC, 1000oC dan 1150oC untuk mendapatkan variasi ukuran pori yang optimal.

### A. Baterai Aluminium-udara

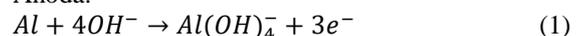
Baterai aluminium-udara terdiri dari logam aluminium sebagai anoda, katoda udara, separator dan larutan elektrolit. Baterai aluminium-udara menghasilkan energi listrik diperoleh dari reaksi elektrokimia yaitu reaksi reduksi dan oksidasi.



Gbr 1. Struktur Baterai Aluminium-udara

Reaksi elektrokimia pada baterai aluminium-udara dapat didefinisikan sebagai berikut:

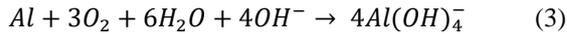
Anoda:



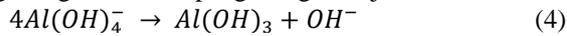
Katoda Udara :



Reaksi Keseluruhan:



Oksigen dari udara dan air yang diperoleh dari elektrolit tereduksi menghasilkan produk ion  $OH^-$  di katoda udara. Ion  $OH^-$  berpindah menuju aluminium dan bereaksi menghasilkan produk reaksi  $Al(OH)_4^-$ . Saat elektron dialirkan pada penghantar terhubung beban merupakan fase pengosongan. Setelah pengosongan terjadi reaksi :



Produk  $Al(OH)_3$  (aluminium hidroksida) merupakan endapan oksida atau korosi yang terakumulasi pada permukaan aluminium.

## II. METODE PENELITIAN

Proses kerja penelitian dilakukan berdasarkan flowchart yang telah disusun. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro Universitas Siliwangi, Jalan Siliwangi No.24, Tasikmalaya. Metode penelitian yang dilakukan berdasarkan hasil penelitian- penelitian yang telah ada untuk dikembangkan menjadi suatu produk baru maupun menyempurnakan produk yang telah ada.

Gbr 2. Flowchart Proses Kerja Penelitian

Silika xerogel disiapkan tanpa pembakaran dan dengan pembakaran pada temperatur 800oC, 1000oC dan 1150oC. Masing-masing sampel silika xerogel dicampur grafit, karbon hitam dan PVDF hingga diperoleh masing-masing massa 5 gram. Pencampuran dilakukan dalam larutan aseton dengan proses steering menggunakan magnetic steering. Agar diperoleh pencampuran bahan yang merata (homogen). Pada proses penempelan bahan pada nikel mesh hingga diperoleh berat katoda udara sebesar 2,5 gram dengan dimensi katoda 6 x 5 cm. Berat bahan yang menempel pada katoda udara sebesar 0,9 gram.

Tbl 1. Alat yang Digunakan

No	Nama Alat	Fungsi
1	Gelas kimia	Wadah pencampuran komposit
2	Magnetic Heated Stirrer	Alat untuk mengaduk bahan ( <i>steering</i> )
3	Timbangan digital	Digunakan untuk mengukur massa bahan
4	Spatula	Digunakan untuk mengambil bahan
5	Mortar dan Alu	Digunakan untuk menumbuk halus bahan
6	Pipet tetes	Digunakan untuk proses <i>coating</i> .
7	Akrilik	<i>Casing</i> Baterai
8	Mesh	Sebagai tempat lapisan komposit
9	Tisu Truwipes	Lapisan pemisah serta digunakan untuk menyimpan larutan 10% NaCl
10	Kain gore tex	Penutup bagian Mesh

11	Mur dan baut	Penguat <i>casing</i> baterai
12	Ram plastik	Penahan komponen
13	Bantalan Busa	Bantalan <i>casing</i>
14	Gunting	Memotong bahan
15	Furnace	Pembakar bahan elektroda yaitu Silika Xerogel
16	Ultrasonic cleaner	Proses pencampuran bahan secara merata

Tbl2. Bahan yang Digunakan

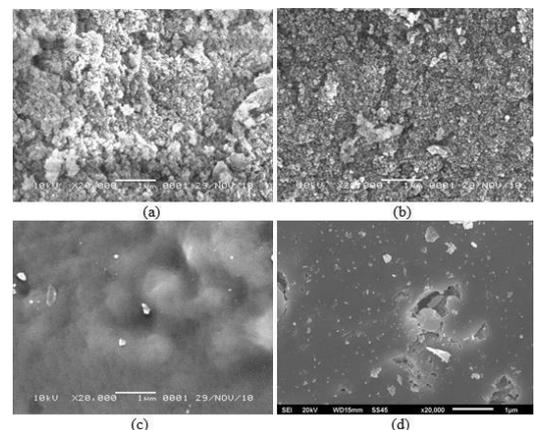
No	Nama Bahan	Jumlah	Fungsi
1	Silika Xerogel	2,5 gram	Adsorben molekul H <sub>2</sub> O
2	Grafit	1,25 gram	Katalisator
3	Karbon hitam	1 gram	Adsorben O <sub>2</sub>
4	PVDF	0,25 gram	Perekat antar bahan
5	Aseton	20 ml	Larutan pencampur bahan
6	10% Larutan NaCl	2 ml	Elektrolit

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakterisasi Silika Xerogel

Tbl3. Karakteristik Pori Silika Xerogel

Temperatur (°C)	Luas permukaan spesifik (m <sup>2</sup> /g)	Volume pori total (cm <sup>3</sup> /g)	Diameter rata-rata pori (nm)
Tanpa pembakaran	343,8006	0,215025	8,67
800° C	30,1447	0,016539	2,08
1000° C	3,3574	0,000053	1,62
1150° C	3,3469	0,000031	1,45



Gbr3. Foto SEM Untuk Sampel Silika Xerogel (a) Tanpa Pembakaran, dan Dengan Dibakar Pada (b) 800oC, (c) 1000oC dan (d) 1150oC

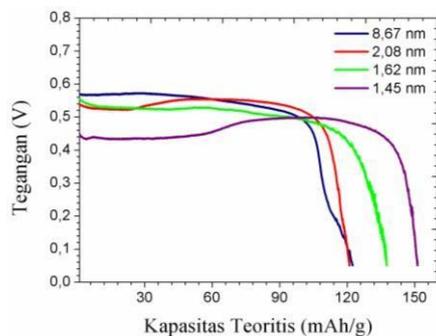
Tabel 3 menunjukkan karakteristik pori silika xerogel. Sampel tanpa pembakaran memiliki ukuran pori dan luas permukaan yang lebih besar dari sampel pembakaran.

Menurut klasifikasi IUPAC pori-pori dalam sampel yang tidak dibakar dengan diameter dari 2 sampai 50 nm diperkirakan sebagai mesopori sedangkan ukuran pori-pori dengan diameter kurang dari 2 nm pada sampel yang dibakar dari 800oC sampai 1150oC diklasifikasikan sebagai mikropori.

Gambar 5 menunjukkan foto SEM silika xerogel tanpa dan dengan dibakar pada temperatur berbeda. Pada sampel tanpa pembakaran, dapat diamati permukaan kasar dan pori-pori uniform dan pori-pori terbentuk di sepanjang batas butir butiran nanosilica yang bertumpuk. Keberadaan sampel menunjukkan struktur yang sangat berpori, namun, secara keseluruhan, permukaannya homogen dan tidak ada retak atau lubang. Untuk sampel yang dibakar pada 800oC, dapat diamati bahwa permukaan memiliki struktur mikro dengan butiran kecil yang terdistribusi secara merata. Butir-butir nanosilica menyatu bersama-sama menciptakan bodi keramik yang lebih padat. Di beberapa lokasi, beberapa pori-pori kecil terisolasi dan tampak retak-retak kecil. Pada foto SEM untuk sampel yang dibakar pada 1000oC dan 1150oC, itu menunjukkan pembentukan lapisan padat pada permukaan sampel dan pori-pori tidak tampak pada permukaan sampel. Ini adalah hasil dari pengisian penuh fase cair pada pori-pori sampel selama pembakaran. Karena gaya permukaan pada pori-pori halus, fase cair mulai meresap dan mengisi pori-pori terbuka. Modifikasi permukaan sampel yang dibakar 1150oC terjadi dengan pembentukan celah dan rongga.

#### B. Pengujian Discharging

Pengujian discharging menggunakan alat Battery Testing System Neware. Baterai aluminium-udara diberi arus beban konstan sebesar 10 mA. Pengosongan dilakukan sampai tegangan 0,05 V.



Gbr4. Grafik Tegangan Terhadap Kapasitas Teoritis

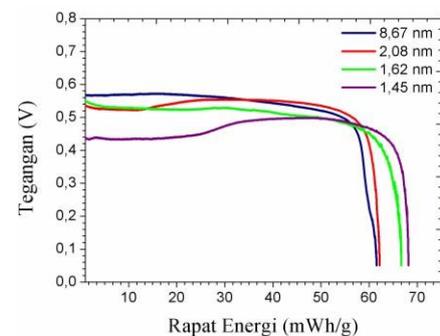
Pengosongan baterai dengan sampel pori berukuran 8,67 nm cenderung memiliki tegangan stabil pada 0,57 V dan menurun secara datar mencapai titik cut off pada tegangan 0,45 V menghasilkan kapasitas teoritis sebesar 104,52 mAh/g. Prilaku yang sama pada pengosongan baterai dengan sampel pori berukuran 2,08 nm mencapai titik cut off pada tegangan 0,45 V namun memiliki kapasitas teoritis yang lebih tinggi sekitar 110,5 mAh/g. Pada pengosongan baterai dengan sampel pori berukuran 1,62 nm mencapai titik cut off pada tegangan 0,4 V dengan kapasitas teoritis 122,7 mAh/g dan pengosongan baterai dengan sampel pori berukuran 1,45 nm tegangan cut off 0,4 V dan kapasitas teoritis 140,9 mAh/g.

Kapasitas teoritis merupakan besarnya kapasitas baterai dibagi massa material aktif yang terlibat dalam baterai. Pada perhitungan ini massa material aktif yang diambil adalah

massa elektroda katoda udara. Massa katoda udara sebesar 2,5 gram dengan berat bahan komposit silka xerogel yang menempel pada katoda sebesar 0,9 gram. Komposit silika xerogel merupakan campuran antara grafit dan karbon hitam.

Tegangan cut off ditandai dengan penurunan tegangan yang mulai curam. Mengindikasikan bahwa baterai telah mengirimkan sebagian besar kapasitasnya. Tegangan cut off diambil ketika tegangan sudah tidak bisa mempertahankan tegangan kerjanya. Tegangan cut off diperoleh masing-masing baterai berkisar antara 0,4 V sampai 0,45 V.

Gambar 7 menampilkan grafik besar nilai rapat kapasitas baterai berdasarkan sampel ukuran pori, semakin besar ukuran pori membuat rapat kapasitas semakin menurun. Pengaruh ukuran pori terhadap reaksi elektrokimia baterai terlihat pada penurunan rapat kapasitas yang disebabkan karena besarnya ukuran pori membuat produk reaksi  $OH^-$  dalam katoda udara memiliki konsentrasi besar sehingga mempercepat reaksi elektrokimia yang menghasilkan endapan oksida berupa  $Al(OH)_3$ . Endapan oksida yang dihasilkan dapat menutupi pori-pori katoda dan menghambat pembentukan produk reaksi  $OH^-$ .



Gbr5. Grafik Tegangan Terhadap Rapat Energi

Baterai dengan sampel pori berukuran 8,67 nm memiliki rapat energi sebesar 57,57 mWh/g pada tegangan cut off 0,45 V. Baterai dengan sampel pori berukuran 2,08 nm memiliki rapat energi sebesar 59,2 mWh/g pada tegangan cut off 0,45 V. Baterai dengan sampel pori berukuran 1,62 nm memiliki rapat energi 62,75 mWh/g dengan tegangan cut off 0,4 V. Baterai dengan sampel pori berukuran 1,45 nm memiliki rapat energi 65,25 mWh/g dengan tegangan cut off 0,4 V.

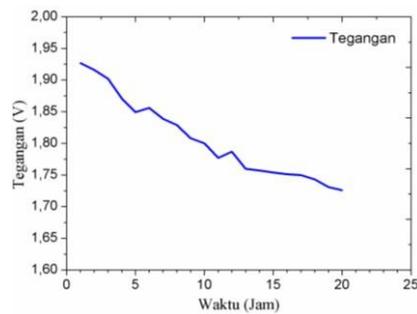
Rapat energi merupakan besarnya energi dibagi massa material aktif yang terlibat dalam sel baterai. Pada perhitungan ini massa material aktif yang diambil adalah massa elektroda katoda udara. Massa katoda udara sebesar 2,5 gram dengan berat bahan yang menempel pada nikel mesh sebesar 0,9 gram. Komposit silika xerogel merupakan campuran antara grafit dan karbon hitam.

Berdasarkan gambar 8 rapat energi baterai meningkat berdasarkan penurunan ukuran pori sampel baterai. Semakin kecil ukuran pori membuat rapat energi meningkat. Ukuran pori yang kecil membuat produktifitas katoda udara dalam menghasilkan produk reaksi berupa  $OH^-$  menjadi sedikit dan memperlambat laju reaksi pembentukan endapan oksida. Endapan oksida atau aluminium hidroksida yang dihasilkan dapat menutupi pori-pori katoda dan menghambat pembentukan produk reaksi  $OH^-$ .

#### C. Pengujian Beban LED

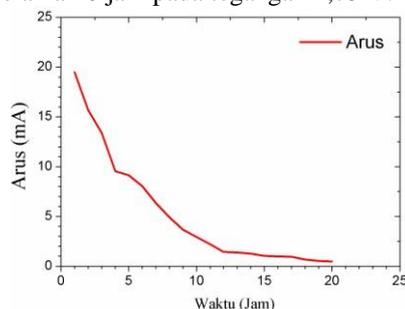
Pengujian dilakukan dengan memberikan beban LED dengan spesifikasi tegangan kerja 1,5 V sampai 2 V dengan

arus maksimum beban LED 20 mA. Pengukuran tegangan dan arus beban menggunakan Digital Multimeter SANWA seri CD800a dengan ketelitian dua angka dibelakang koma (0,00).



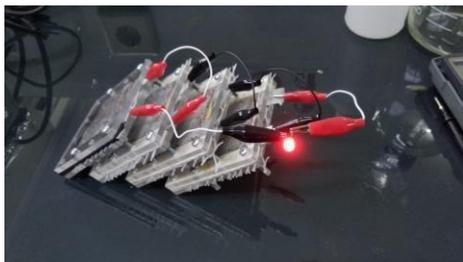
Gbr6. Tegangan Beban LED

Tegangan terbuka (open circuit voltage) 4 sel baterai yang dihubungkan seri mencapai 2,819 V. Saat terhubung lampu LED tegangan pada beban 1,927 V. Baterai mencapai titik cut off selama 20 jam pada tegangan 1,75 V.



Gbr7. Arus Beban LED

Pengujian ini menunjukkan baterai dapat bekerja pada sebuah beban LED. Baterai disusun secara seri untuk menghasilkan tegangan yang sesuai. Hasil pengujian menunjukkan baterai memiliki tegangan terbuka sebesar 2,819 V dan tegangan beban sebesar 1,927 V. Baterai di beri beban LED mencapai titik cut off atau drop tegangan pada 1,7 V dengan arus 0,4 mA.



Gbr8. Uji beban LED

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian terhadap studi elektrokimia baterai aluminium-udara dengan silika xerogel sebagai bahan elektroda dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut:

- 1) Ukuran pori dan luas permukaan sampel mempengaruhi cepat lambatnya proses pembentukan endapan oksida atau korosi pada aluminium. Semakin besar ukuran pori maka semakin luas permukaan sampel sehingga mempercepat pembentukan korosi atau endapan oksida pada aluminium. Endapan oksida mengurangi rapat kapasitas dan rapat energi baterai aluminium-udara.
- 2) Tegangan terbuka yang dihasilkan berkisar 0,7 V sampai 0,8 V dan arus hubung singkat (short circuit) 51,7 mA sampai 102,6 mA. Arus hubung singkat menggambarkan laju transfer elektron pada reaksi elektrokimia. Hasil menunjukkan arus hubung singkat semakin tinggi berdasarkan kenaikan temperatur pembakaran sampel silika xerogel. Hal ini disebabkan karena pori-pori silika tertutup endapan oksida menghambat laju pertukaran elektron. Diperlukan pengembangan lebih lanjut mengenai penanggulangan produksi endapan oksida atau korosi pada baterai aluminium-udara.

#### REFERENSI

- [1] Y. Li and J. Lu, "Metal – Air Batteries : Will They Be the Future Electrochemical Energy Storage Device of," 2017.
- [2] Y. Liu, Q. Sun, W. Li, K. R. Adair, J. Li, and X. Sun, "ScienceDirect A comprehensive review on recent progress in aluminum e air batteries," Green Energy Environ., 2017.
- [3] J. Lee, S. T. Kim, R. Cao, N. Choi, M. Liu, and K. T. Lee, "Metal – Air Batteries with High Energy Density : Li – Air versus Zn – Air," pp. 34–50, 2011.

#### BIOGRAFI PENULIS



**Iman Maulana**, lahir di Bekasi pada tanggal 4 Desember 1996. Saat ini sedang menempuh pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Siliwangi. Bidang penelitian yang ditekuni saat ini yaitu Material Elektrik.