

# Penggunaan Bahan Aluminium Sebagai Anoda Pada Baterai dan Cairan Elektrolit NaCl

1<sup>st</sup> Robeth Matthew  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
robethmatthew@student.telkomuniversity.ac.id

2<sup>nd</sup> Ekki Kurniawan  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
ekkekurniawan@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Erwin Susanto  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
erwinelektro@telkomuniversity.ac.id

**Abstrak** — Aluminium sebagai material elektroda baterai sangat berpotensi besar, karena aluminium merupakan bahan yang melimpah, murah, dan ramah lingkungan, pengembangan baterai berbasis aluminium cukup menarik perhatian saat ini. Dengan menggunakan berbagai material katoda berupa tembaga dan elektrolit berupa larutan sodium klorida, penelitian ini menyelidiki sifat dan operasi baterai aluminium. Metode pengujian yang dilakukan yaitu, pengujian bahan anode dan konsentrasi NaCl, pengujian pengosongan dan pengisian. Hasil pengujian menunjukkan konsentrasi larutan NaCl 1M pada bahan anode aluminium menghasilkan tegangan yang paling optimal yaitu 0,538 V untuk 1 sel, dan juga modul baterai aluminium memiliki kapasitas sebesar 2,576 Ah dan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 33,05 Wh.

**Kata kunci**— aluminium, baterai, elektroda, elektrolit, NaCl

## I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan teknologi yang pesat ini membuat kebutuhan energi listrik yang meningkat pesat dan harus terpenuhi [1], seperti kebutuhan listrik masyarakat untuk menjalankan aktifitas sehari-hari. Listrik menjadi kebutuhan utama masyarakat untuk menjalankan aktivitas.

Sebagai contoh adalah penggunaan perangkat-perangkat elektronik. Tak hanya itu, perkembangan di bidang transportasi dan pembangkit listrik juga sudah mulai beralih dari kendaraan berbahan bakar minyak menjadi kendaraan bertenaga listrik [2], dan pembangkit listrik yang menggunakan solar menjadi pembangkit listrik energi terbarukan. Ini dikarenakan menipisnya cadangan minyak bumi dan munculnya permasalahan pemanasan global [3]. Maka dari itu besarnya peluang dalam pengembangan baterai, karena baterai merupakan perangkat penyimpanan listrik yang sangat dibutuhkan saat ini.

Namun baterai yang sudah banyak diproduksi dan digunakan harganya cukup mahal, dikarenakan bahan utama dari baterai itu sendiri yang sulit ditemukan, yaitu lithium [3]. Kebanyakan bahan lithium harus di impor dari luar negeri, sehingga ini membutuhkan dana yang tidak sedikit jika ingin diproduksi semakin banyak untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat yang semakin meningkat [4]. Dengan adanya inovasi pengembangan bahan utama baterai menggunakan bahan aluminium akan menekan biaya produksi, sehingga biaya produksi baterai untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat akan lebih terjangkau [5]. Aluminium sendiri secara teori memiliki

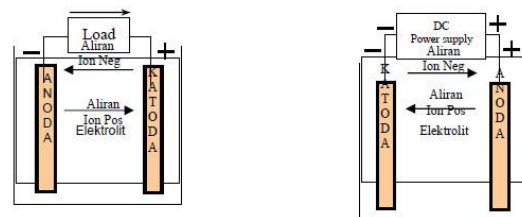
kepadatan energi sebesar  $8100 \text{ Wh Kg}^{-1}$  [6] lebih besar dibandingkan dengan baterai lithium-ion ( $100 - 200 \text{ Wh Kg}^{-1}$ ) [7].

## II. KAJIAN TEORI

### A. Prinsip kerja Baterai

Sel Volta merupakan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) yang terjadi pada sel baterai dan berlangsung spontan [8]. Reduksi sendiri merupakan reaksi dimana ion menangkap elektron, sedangkan oksidasi merupakan reaksi dimana ion melepaskan elektron.

Baterai merupakan perangkat yang menyimpan energi kimia dan dapat menghasilkan energi listrik. Baterai terdiri dari sel baterai, sel baterai menghasilkan reaksi elektrokimia yang merubah energi kimia menjadi energi listrik. Reaksi pada baterai melibatkan reaksi redoks. Baterai terdiri dari 2 kutub, yaitu kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Elektron yang dihasilkan dari reaksi kimia pada baterai mengalir dari anoda (-) ke katoda (+) melalui rangkaian eksternal baterai yang menghasilkan arus listrik. Penentuan bahan dari katoda dan anoda dilihat dari sifat kimianya dan reaktivitas kimianya. Bahan pada katoda memiliki keelektronegatifan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan pada anoda.



GAMBAR 1:  
Prinsip Kerja Baterai

Baterai memiliki parameter-parameter penting yang dapat diukur untuk mengetahui kinerjanya. Salah satu parameter utama adalah tegangan yang dihasilkan pada sel baterai, tegangan menunjukkan beda potensial antara kutub positif dan kutub negatif. Tegangan ini biasanya dinyatakan dalam volt (V). selain itu, dimensi baterai juga merupakan parameter penting, yang mencakup Panjang, lebar dan tinggi baterai, yang biasanya diukur dalam milimeter (mm) atau sentimeter (cm). dimensi ini penting untuk memastikan baterai cocok dengan perangkat yang akan digunakan. Terakhir, kapasitas

baterai yang mengukur jumlah energi yang dapat disimpan dan dilepaskan oleh baterai, kapasitas biasanya dinyatakan dalam milliampere-jam (mAh) atau ampere-jam (Ah). Kapasitas menentukan berapa lama baterai dapat bertahan sebelum perlu diisi ulang.

Reaksi reduksi	$E^{\circ}_{red}$
$Li^{+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Li(s)$	-3,04
$Na^{+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Na(s)$	-2,71
$Mg^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Mg(s)$	-2,38
$Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightleftharpoons Al(s)$	-1,66
$2H_2O(l) + 2e^{-} \rightleftharpoons H_2(g) + 2OH^{-}(aq)$	-0,83
$Zn^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Zn(s)$	-0,76
$Cr^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightleftharpoons Cr(s)$	-0,74
$Fe^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Fe(s)$	-0,41
$Cd^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Cd(s)$	-0,40
$Ni^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Ni(s)$	-0,23
$Sn^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Sn(s)$	-0,14
$Pb^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Pb(s)$	-0,13
$Fe^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightleftharpoons Fe(s)$	-0,04
$2H^{+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons H_2(g)$	0,00
$Sn^{4+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Sn^{2+}(aq)$	0,15
$Cu^{2+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Cu^{+}(aq)$	0,16
$Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Cu(s)$	0,34
$Cu^{+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Cu(s)$	0,52
$I_2(s) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2I^{-}(aq)$	0,54
$Fe^{3+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq)$	0,77
$Ag^{+}(aq) + e^{-} \rightleftharpoons Ag(s)$	0,80
$Hg_2^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2Hg(l)$	0,85
$2Hg^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons Hg_2^{2+}(aq)$	0,90
$Br_2(l) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2Br^{-}(aq)$	1,07
$O_2(g) + 4H^{+}(aq) + 4e^{-} \rightleftharpoons 2H_2O(l)$	1,23
$Cl_2(g) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2Cl^{-}(aq)$	1,36
$H_2O_2(aq) + 2H^{+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2H_2O(l)$	1,78
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}(aq)$	2,01
$F_2(g) + 2e^{-} \rightleftharpoons 2F^{-}(aq)$	2,87

GAMBAR 2: Tabel Potensial Standar Reduksi

B. Baterai Aluminium

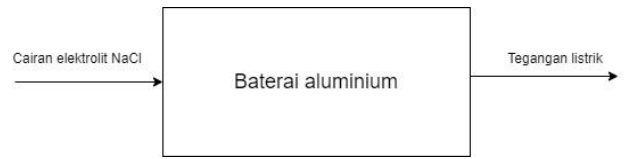
Sel baterai aluminium memiliki anoda berupa aluminium dan katoda berupa tembaga. Aluminium berperan sebagai anoda dikarenakan nilai potensial aluminium lebih kecil (-1,66) dibandingkan dengan nilai potensial tembaga (0,52) [9], pada gambar 2, sehingga elektrode yang memiliki nilai potensial lebih kecil akan teroksidasi, dan elektrode yang memiliki nilai potensial lebih besar akan tereduksi. Namun tembaga juga dapat mengalami oksidasi oleh oksigen menjadi cuprous oxide ( $Cu_2O$ ), tetapi saat tembaga digunakan pada baterai aluminium, aluminium akan mengalami lebih banyak oksidasi dengan oksigen, sehingga ini akan sangat memungkinkan terjadi pengikisan pada bahan aluminium[10]. Bahan aluminium yang digunakan sebagai anode secara teori dapat menghasilkan tegangan sebesar 2,7 V untuk 1 sel, dan memiliki kepadatan energi sebesar 8,1 kWh  $Kg^{-1}$  [11], seperti pada tabel berikut.

TABEL 1: Perbandingan Baterai Logam-Udara

Jenis Baterai	Tegangan Teori (V)	Kapasitas Teori(Ah $Kg^{-1}$ )	Densitas Energi Teori ( $kWh Kg^{-1}$ )	Practical Operating Voltage(V)
Li-air	3,4	1170	13	2,4
Zn-air	1,6	658	1,3	1,0 – 1,2
Mg-air	3,1	920	6,8	1,2 – 1,4
Na-air	2,3	687	1,6	2,3
Al-air	2,7	1030	8,1	1,2 – 1,6

III. METODE  
Metode penelitian ini terdiri dari diagram blok, desain, dan cara penggunaan.

A. Diagram Blok



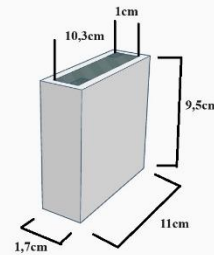
GAMBAR 3 : Diagram Blok

Diagram blok ini menggambarkan masukan dan keluaran dari baterai aluminium. Terdapat 1 masukan yang berupa larutan elektrolit NaCl dan 1 keluaran yaitu tegangan listrik.

B. Desain Baterai

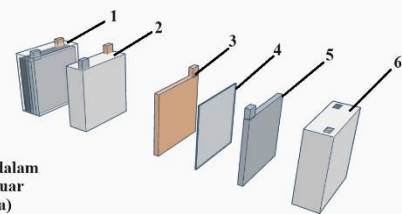
1. Desain Sel Baterai

Desain pada casing sel baterai aluminium menggunakan bahan Polyvinyl Chloride (PVC) foam board, dengan ketebalan 3 mm, untuk dimensi luar casing sel baterai memiliki ukuran panjang 11cm x tinggi 9,5 cm x lebar 1,7 cm dan dimensi dalam casing baterai memiliki ukuran panjang 10,3 cm x tinggi 9 cm x lebar 1 cm.



GAMBAR 4: Desain Casing Sel Baterai

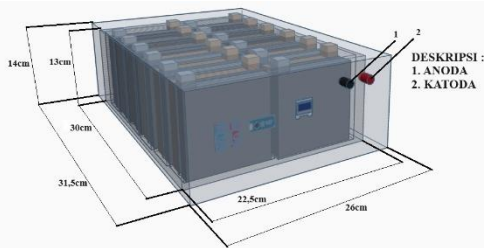
Sel baterai aluminium terdiri dari anoda (-) berupa plat aluminium, separator, katoda (+) berupa plat tembaga dan cairan elektrolit berupa larutan NaCl



DESKRIPSI :  
1. Baterai tampak dalam  
2. Baterai tampak luar  
3. Katoda (Tembaga)  
4. Separator  
5. Anoda (Aluminium)  
6. Casing sel baterai

GAMBAR 5: Contoh Desain Sel Baterai Aluminium

Spesifikasi dari sel baterai aluminium yang dirancang :  
• Ukuran plat aluminium : 10cm x 10cm x 0,3mm  
• Ukuran plat tembaga : 10cm x 10cm x 0,2mm



GAMBAR 6:  
Contoh Desain Modul Baterai Aluminium

Casing modul baterai aluminium dibuat menggunakan bahan yang sama pada sel baterai, yaitu Polyvinyl Chloride (PVC) foam board, dengan ketebalan 1 cm. Untuk dimensi luar casing modul baterai memiliki ukuran panjang 31,5cm x tinggi 14 cm x lebar 26 cm dan dimensi dalam casing modul baterai memiliki ukuran panjang 30 cm x tinggi 13 cm x lebar 22,5 cm. Modul baterai aluminium terdiri dari 24 sel terhubung seri.

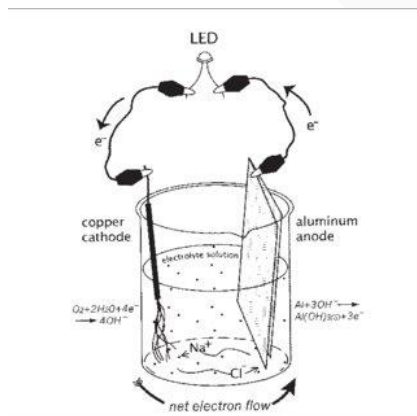
C. Cara Penggunaannya

Pertama pengguna akan menuangkan cairan elektrolit berupa larutan natrium klorida pada tiap sel baterai aluminium, lalu modul baterai aluminium siap digunakan. Terdapat sisi katoda dan anoda pada modul baterai yang dapat dihubungkan langsung ke beban.

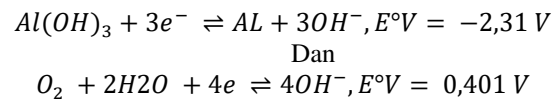
D. Cara kerja Baterai

Baterai ini terdiri dari anoda (-) yang menggunakan bahan aluminium, katoda (+) yang menggunakan bahan tembaga, pemisah antara 2 sel menggunakan separator dan cairan elektrolit berupa NaCl (Natrium Klorida). Tembaga digunakan sebagai elektroda pada sisi positif dikarenakan tembaga memiliki keelektronegatifan yang lebih tinggi yaitu (1,90) dibandingkan dengan aluminium (1,61) [12], sehingga elektron akan cenderung ditarik dari aluminium menuju tembaga. Namun tembaga tidak mempengaruhi reaksi pada baterai, tembaga hanya berfungsi sebagai reduktor untuk oksigen.

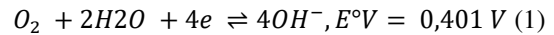
Larutan NaCl digunakan sebagai konduktor untuk mengalirkan elektron yang didapat dari saluran eksternal yang melewati lampu pada tembaga ke sisi aluminium untuk menggantikan elektron yang hilang. Begitupun oksigen yang tereduksi pada larutan. Sehingga persamaan reaksi yang dibutuhkan adalah :



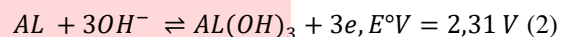
GAMBAR 7:  
Reaksi Baterai Aluminium



Nilai potensial listrik dari kedua persamaan reaksi tersebut didapat dari tabel potensial standar elektroda [13]. Maka persamaan reaksi yang terjadi pada 1 sel adalah:



Persamaan reaksi ini terjadi pada sisi katoda (tembaga). Penurunan tegangan dapat terjadi seiring berjalannya waktu, hal ini dikarenakan oksigen pada larutan sekitar tembaga akan berkurang. Begitupun juga dengan berkurangnya arus yang diakibatkan oleh oksidasi pada sel baterai. Aluminium yang teroksidasi dengan hidroksida menghasilkan elektron, berikut reaksinya :



Aluminium akan melepaskan elektron saat bereaksi dengan hidroksida dan menghasilkan produk aluminium hidroksida, Al(OH). Bahan aluminium akan mengalami pengikisan pada saat proses oksidasi, sehingga bahan aluminium akan menipis seiring berjalannya waktu.

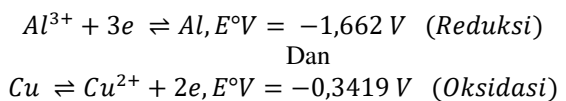
Akan tetapi produk Hidroksida, OH<sup>-</sup> yang berada pada sisi aluminium berbeda dengan produk Hidroksida yang berada pada sisi tembaga, maka dari itu NaCl yang terlarut pada air yang membentuk produk Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> [14] berperan dalam reaksi ini. Dimana produk Sodium, Na<sup>+</sup> akan bergerak menuju tembaga untuk menyeimbangkan ion Hidroksida hasil dari reduksi oksigen pada larutan (persamaan 1) dan Klorida, Cl<sup>-</sup> akan bergerak menuju aluminium untuk menggantikan ion Hidroksida (OH)<sup>-</sup> yang terpakai pada reaksi persamaan (2). Ion Hidroksida pada sisi anoda didapat dari ion Hidroksida bebas pada H<sub>2</sub>O.

Maka persamaan reaksi keseluruhan menjadi :

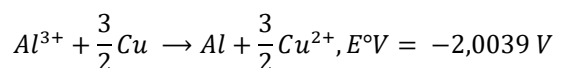


Sehingga dengan menggabungkan kedua persamaan reaksi pada katoda dan anoda, didapat potensial listrik yang dihasilkan pada tiap sel baterai adalah 2,711 Volt [10].

Di dalam sel baterai, terjadi reaksi kimia yang bersifat reveribel, artinya reaksi kimia baterai dapat berbalik arah. Saat baterai digunakan, energi kimia diubah dari menjadi energi listrik, sedangkan saat pengisian, energi listrik diubah menjadi energi kimia. Proses pengisian ulang, baterai dihubungkan dengan catu daya secara paralell, sehingga reaksi redoks akan berlangsung terbalik. Aluminium akan mengalami reduksi dan tembaga akan mengalami oksidasi. Oleh karena itu persamaan reaksi yang dihasilkan adalah:



Persamaan reaksi keseluruhan baterai saat pengisian :



Nilai potensial keseluruhan -2,0039 V. Nilai menunjukkan negatif yang berarti reaksi tidak spontan dan membutuhkan energi listrik eksternal untuk mengalirkan elektron.

E. Implementasi

Modul baterai aluminium terdiri dari 24 sel, dimana setiap sel dapat menghasilkan tegangan sekitar ±0,5 V. Dalam modul ini, sel baterai dihubungkan secara seri, sehingga satu modul baterai aluminium memiliki tegangan total ±12 V. Modul baterai ini digunakan untuk menghidupkan lampu DC (Direct Current) 12 Volt.

F. Pengujian / Kalibrasi

1. Pengaruh bahan anode dan konsentrasi NaCl terhadap tegangan yang dihasilkan.

Uji coba bahan anode dan konsentrasi NaCl ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bahan anode dan kadar NaCl pada cairan elektrolit terhadap tegangan yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 5 sampel bahan anode dan 7 sampel elektrolit, yaitu:

- a. Kaleng minuman bekas
- b. Plat aluminium murni (Al)
- c. Plat besi (Fe)
- d. Plat timbal (Pb)
- e. Plat seng (Zn)

Pada sampel cairan elektrolit dilakukan perbandingan pada konsentrasi NaCl dalam molaritas:

- Cairan elektrolit 1M NaCl
- Cairan elektrolit 2M NaCl
- Cairan elektrolit 3M NaCl
- Cairan elektrolit 4M NaCl
- Cairan elektrolit 5M NaCl
- Cairan elektrolit 6M NaCl
- Cairan elektrolit 7M NaCl

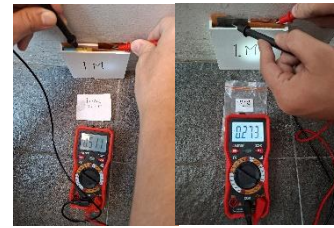
Sampel cairan elektrolit dibuat menggunakan cairan aquades sebanyak 100 milliliter (mL) dengan takaran NaCl 5,844g/mol.



GAMBAR 8: S Ampel Bahan Anode



GAMBAR 9: Pengujian Sampel Bahan 1

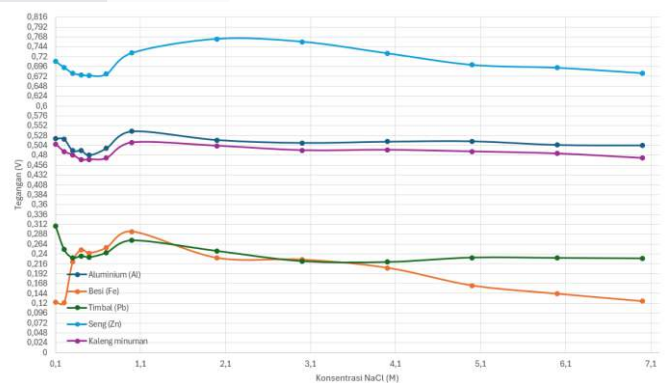


GAMBAR 10: Pengujian Sampel Bahan 2

TABEL 2: Hasil Pengujian Bahan Anode Dan Konsentrasi NaCl

Konsentrasi (M)	Jenis Bahan				
	Aluminium (Al)	Besi (Fe)	Timbal (Pb)	Seng (Zn)	Kaleng minuman
0,1	0,52	0,123	0,308	0,708	0,507
0,2	0,519	0,121	0,251	0,694	0,489
0,3	0,491	0,22	0,23	0,68	0,481
0,4	0,491	0,25	0,235	0,676	0,469
0,5	0,48	0,242	0,232	0,674	0,47
0,7	0,497	0,255	0,243	0,678	0,473
1	0,538	0,294	0,273	0,729	0,511
2	0,517	0,23	0,247	0,763	0,503
3	0,51	0,226	0,222	0,756	0,492
4	0,513	0,206	0,22	0,728	0,493
5	0,514	0,163	0,231	0,7	0,489
6	0,505	0,143	0,23	0,693	0,484
7	0,504	0,125	0,229	0,68	0,473

Dari pengujian 5 sampel bahan anode, yaitu aluminium (Al), besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), dan kaleng minuman, dengan beberapa variasi konsentrasi dari 0,1M sampai dengan 7M menunjukkan bahwa semakin pekat kadar NaCl pada larutan tidak mempengaruhi kenaikan tegangan yang dihasilkan pada setiap sel. Dari data hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaCl pada larutan mengakibatkan adanya sedikit penurunan pada tegangan yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan batas zat terlarut NaCl berada pada 6,5M atau 360 gram NaCl per 1 liter air, sehingga diatas molaritas tersebut NaCl tidak akan terlarut pada air dan juga batas konduktivitas larutan NaCl ada di angka 12% [10] terukur dari berat. Pada hasil uji bahan anode aluminium dapat menghasilkan tegangan yang paling optimal pada konsentrasi larutan NaCl 1M (0,538V) atau pada 5% NaCl berdasarkan berat.



GAMBAR 11: Grafik Pengujian Sampel Bahan Anode Dan Konsentrasi NaCl

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata tegangan yang dihasilkan menggunakan bahan seng (Zn) pada 1 sel lebih besar dibandingkan dengan bahan anode yang lain ( $\pm 0,700 V$ ), untuk bahan aluminium (Al) dan kaleng minuman menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, bahan aluminium dapat menghasilkan listrik jauh lebih besar sedikit dibandingkan dengan bahan kaleng minuman. Hal ini dikarenakan pada sampel bahan seperti kaleng minuman memiliki kandungan logam lain seperti timbal (Pb), kadmium (Cd) dan seng (Zn) [15]. Untuk bahan timbal (Pb) dan besi (Fe) terlihat tidak jauh berbeda, namun bahan timbal terlihat dapat menghasilkan tegangan yang lebih konstan pada konsentrasi NaCl yang berbeda. Konsentrasi NaCl pada elektrolit tidak berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan, namun berpengaruh terhadap tingkat konduktivitas larutan, kenaikan tegangan terhadap tingkat salinitas juga dapat terjadi tetapi pada bahan elektrode tertentu [16]. Reaksi yang dihasilkan juga terbatas dengan jumlah oksigen pada larutan [10].

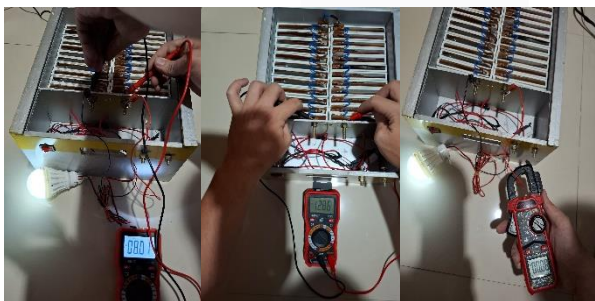
2. Pengujian pengosongan baterai.

Pengujian ini dilakukan untuk mencari rata-rata penurunan tegangan, arus, dan daya dengan cara menghitung nilai (n awal - n akhir) x waktu pengosongan, dimana variabel n merupakan nilai yang ingin dihitung (tegangan, arus dan daya). Pengujian pengosongan dilakukan untuk mencari nilai kapasitas dan daya modul baterai:

$$Kapasitas = A \times Waktu\ pengosongan$$

Dan

$$Daya = kapasitas\ baterai\ (Ah) \times Tegangan\ baterai\ (V)$$

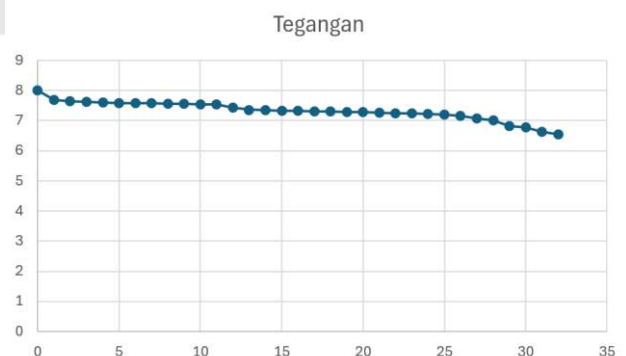


GAMBAR 12: Proses Pengosongan Baterai

TABEL 3: Hasil Pengujian Pengosongan Baterai

Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	8,01	0,08	0,64
1	7,68	0,07	0,53
2	7,64	0,07	0,53
3	7,62	0,07	0,53
4	7,6	0,06	0,45
5	7,59	0,06	0,45
6	7,59	0,05	0,37
7	7,58	0,05	0,37
8	7,57	0,05	0,37
9	7,57	0,05	0,37
10	7,55	0,05	0,37
11	7,55	0,05	0,37
12	7,44	0,04	0,29
13	7,36	0,04	0,29
14	7,35	0,04	0,29
15	7,33	0,04	0,29
16	7,32	0,04	0,29
17	7,31	0,03	0,21
18	7,3	0,03	0,21
19	7,29	0,03	0,21
20	7,28	0,03	0,21
21	7,26	0,03	0,21
22	7,25	0,03	0,21
23	7,24	0,02	0,14
24	7,23	0,02	0,14
25	7,21	0,02	0,14
26	7,15	0,02	0,14
27	7,07	0,02	0,14
28	7,01	0,02	0,14
29	6,82	0,02	0,13
30	6,78	0,01	0,06
31	6,63	0,01	0,06
32	6,54	0	0

Pengujian pengosongan modul baterai aluminium berlangsung selama 32 jam sampai lampu mati. Pengosongan dilakukan menggunakan beban berupa lampu DC 12 volt dengan daya 5 watt dan alat ukur berupa clamp meter AC/DC. Sebelum lampu dihubungkan, modul baterai aluminium memiliki tegangan sebesar 12,86 volt. Setelah beban lampu terhubung terdapat penurunan tegangan sebesar 4,85 volt. Sehingga tegangan pada modul baterai aluminium saat lampu terpasang berada di 8,01 volt.



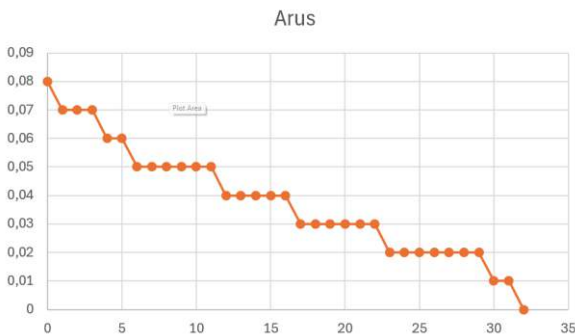
GAMBAR 13: Grafik Tegangan Hasil Monitoring Pengosongan Baterai

Dari grafik hasil monitoring tegangan pada gambar 13, terlihat bahwa terdapat penurunan tegangan sebesar 1,47 volt (8,01 V – 6,54 V) selama pengujian berlangsung 32 jam sampai lampu mati, maka dari data tersebut dapat dihitung rata-rata penurunan tegangan pada modul baterai aluminium.

Rata – rata penurunan tegangan :

$$\frac{(tegangan\ awal - tegangan\ akhir)}{waktu\ pengosongan} = \frac{(8,01 - 6,54)}{32,2}$$

Rata – rata penurunan tegangan sebesar 0,04 V per jamnya.



GAMBAR 14: Grafik Arus Hasil Monitoring Pengosongan Baterai

Pada grafik hasil monitoring arus pengosongan modul baterai aluminium terlihat bahwa arus pengosongan sebesar 0,08 ampere (0,08 A – 0 A), sehingga dari data tersebut dapat dihitung rata-rata penurunan arus dan kapasitas modul baterai aluminium.

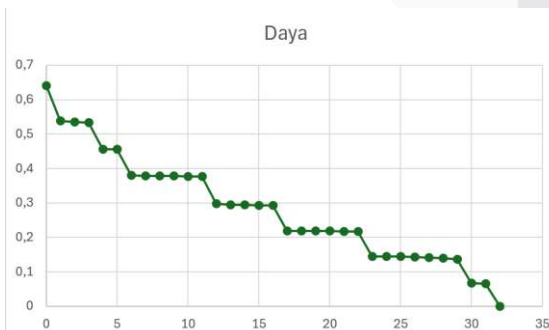
Rata – rata penurunan arus :

$$\frac{(arus\ awal - arus\ akhir)}{waktu\ pengosongan} = \frac{(0,08 - 0)}{32,2}$$

Rata – rata penurunan arus sebesar 0,002 A per jamnya

Kapasitas baterai :

$$\begin{aligned} Arus\ pengosongan \times waktu\ pengosongan \\ = 0,08\ A \times 32,2\ jam \\ = 2,576\ Ah \end{aligned}$$



GAMBAR 15: GRAFIK DAYA HASIL MONITORING PENGOSONGAN BATERAI

Dari data grafik pengosongan daya pada modul baterai aluminium (gambar 15) dapat dihitung rata-rata penurunan daya untuk modul baterai.

Rata – rata penurunan daya :

$$\frac{(daya\ awal - daya\ akhir)}{waktu\ pengosongan} = \frac{(0,64 - 0)}{32,2}$$

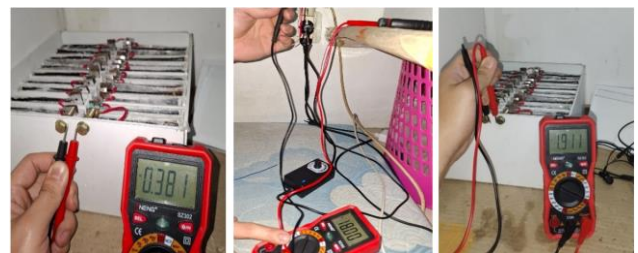
Rata – rata penurunan daya sebesar 0,02 W per jamnya.

Sehingga dari hasil pengujian pengosongan ini didapatkan kapasitas modul baterai aluminium sebesar 2,576 Ah (Ampere hour) tau 2576 mAh (milliampere hour). Dari data tersebut juga dapat dihitung energi yang dihasilkan dari modul baterai.

$$\begin{aligned} Wh &= Kapasitas\ baterai\ (Ah) \times Tegangan\ baterai\ (V) \\ &= 2,576\ Ah \times 12,89\ V \\ &= 33,05\ Wh \end{aligned}$$

### 3. Pengujian pengisian baterai

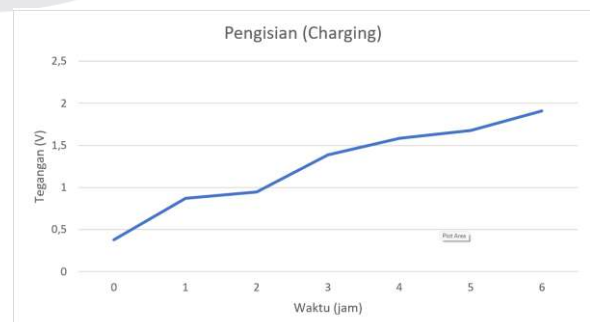
Proses pengisian dilakukan dengan cara mengalirkan arus listrik dari catu daya secara paralell. Hal ini bertujuan untuk meregenerasi elektrode yang telah terpakai. Pengujian pengisian modul baterai dilakukan menggunakan AC adaptor yang terhubung secara paralel.



GAMBAR 16: Pengujian Pengisian Modul Baterai Aluminium

TABEL 4: Hasil Pengujian Pengisian Modul Baterai

Jam	Tegangan (V)
0	0,381
1	0,871
2	0,946
3	1,385
4	1,586
5	1,679
6	1,911



GAMBAR 17: GRAFIK HASIL PENGUJIAN PENGISIAN MODUL BATERAI ALUMINIUM

Pengujian pengisian ulang tegangan listrik dilakukan selama 6 jam dan dilakukan pengukuran setiap 1 jam sekali. Pengisian menggunakan AC adaptor dengan keluaran tegangan DC sebesar 18 V dan arus 2 A yang dihubungkan secara paralel pada katoda dan anoda modul baterai aluminium. Dari data hasil pengujian didapat :

- Tegangan awal : 0,381 V
- Tegangan akhir : 1,911 V

Total kenaikan tegangan sebesar 1,53 V dalam waktu 6 jam, atau 0,255 V / jam.

#### G. Hasil Akhir Integrasi Sistem

Hasil akhir menunjukkan bahwa pengujian telah sukses memenuhi kebutuhan baterai aluminium sebagai sumber energi listrik alternatif selain baterai lithium



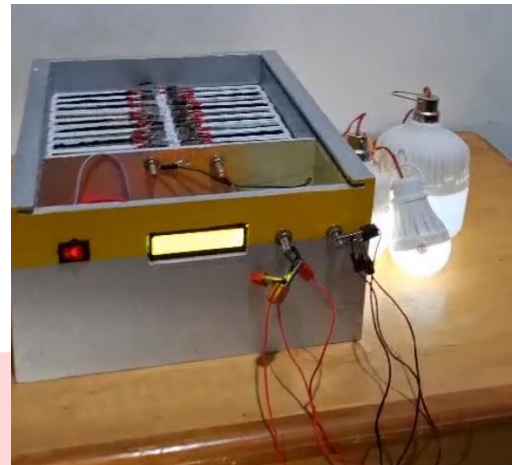
GAMBAR 18:  
HASIL AKHIR INTEGRASI MODUL BATERAI ALUMINIUM

Sel baterai terdiri dari aluminium murni sebagai anode (-), separator sebagai pemisah antara anode dan katode, dan tembaga sebagai katode (+). Pada 1 sel baterai aluminium dapat menghasilkan tegangan sebesar  $\pm 0,5 V$ .



GAMBAR 19:  
HASIL AKHIR INTEGRASI MODUL BATERAI ALUMINIUM

Cairan elektrolit menggunakan aquades dan bubuk NaCl, yang nantinya bubuk NaCl akan dilarutkan menggunakan air aquades dengan konsentrasi NaCl sebesar 30%.



GAMBAR 20:  
HASIL AKHIR INTEGRASI MODUL BATERAI ALUMINIUM

Hasil akhir integrasi pada baterai aluminium, sel baterai aluminium yang dihubungkan secara serial untuk membentuk modul baterai aluminium yang memiliki keluaran tegangan sebesar 12V.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Baterai aluminium telah melalui 3 pengujian sub-sistem. Yang diantaranya merupakan pengujian kemampuan bahan aluminium untuk bereaksi menghasilkan tegangan listrik, dan kemampuannya dalam melakukan pengosongan dan pengisian ulang tegangan listrik.

A. Pengujian Sub-sistem 1: Pengaruh kadar logam lain dan konsentrasi NaCl terhadap tegangan yang dihasilkan.

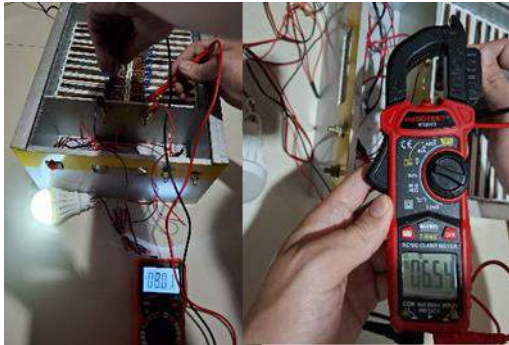


GAMBAR 21:  
HASIL PENGUJIAN BAHAN ANODE

Hasil pengujian dengan menggunakan 5 sampel bahan anode dengan 7 sampel larutan NaCl, didapatkan bahwa pada hasil pengujian bahan, sampel bahan anode seng (Zn) dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan bahan aluminium (Al), namun penggunaan bahan seng sebagai anode baterai memiliki masalah dalam pengendapan seng, kelarutan oksigen yang terbatas, pelarutan yang tidak seragam, dan juga potensi kelebihan muatan yang tinggi [9]. Untuk tegangan yang dapat dihasilkan pada 1 sel baterai aluminium dengan konsentrasi NaCl 1M ada pada 0,538V. tegangan yang dihasilkan masih terbilang cukup jauh jika dibandingkan dengan baterai lithium-ion yang sudah banyak digunakan (3,6V untuk 1 sel).

Maka itu penulis melakukan penghubungan secara seri pada 12 sel baterai untuk menghasilkan tegangan yang lebih besar.

#### B. Pengujian Sub-sistem 2: Pengosongan Modul Baterai Aluminium



GAMBAR 22:  
HASIL PENGUJIAN PENGOSONGAN MODUL BATERAI ALUMINIUM

Dari hasil pengujian, tegangan modul baterai aluminium sebelum dipasang beban berupa lampu berada di angka 12,89 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul baterai aluminium dapat menghidupkan lampu DC 12 volt dengan daya 5 watt. Proses pengujian juga menunjukkan modul baterai dapat menghidupkan lampu tersebut dalam waktu 32 jam 13 menit (sampai lampu mati) dan masih memiliki sisa tegangan sebesar 6,54 V. Dari pengujian ini juga didapatkan nilai kapasitas modul baterai sebesar 2576 mAh (miliAmpere hour) atau 2,576 Ah, arus listrik yang dikeluarkan baterai aluminium masih lebih rendah dibandingkan dengan baterai lithium-ion yaitu 3200 mAh [16][17].

#### C. Pengujian Sub-sistem 3: Pengujian Pengisian Baterai



GAMBAR 23:  
HASIL PENGUJIAN PENGISIAN MODUL BATERAI ALUMINIUM

Hasil pengujian pengisian modul baterai aluminium dilakukan menggunakan catu daya berupa AC adaptor. Keluaran tegangan AC adaptor berada di 18 V dan arus 2A. Pada pengujian ini membuktikan bahwa modul baterai aluminium dapat melakukan proses pengisian ulang tegangan baterai. Pengisian tegangan sebesar 1,53 V didapat dengan waktu 6 jam.

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan 3 pengujian sub-sistem pada baterai aluminium yang mencakup pengujian bahan anode, pengujian pengosongan dan pengujian pengisian. Dapat disimpulkan bahwa baterai aluminium dapat menjadi alternatif bagi penyimpanan energi listrik selain baterai lithium. Sehingga penggunaan aluminium sebagai bahan

baterai ini dapat dikembangkan kembali agar lebih efisien dan optimal, juga dapat ditambahkan fitur lainnya. Modul baterai juga dapat diintegrasikan dengan panel surya yang dapat berfungsi untuk melakukan pengisian ulang daya, juga untuk mendukung pemanfaatan energi terbarukan.

### REFERENSI

- [1] M. S. Boedoyo, "Potensi dan Peranan PLTS Sebagai Energi Alternatif Masa Depan di Indonesia," *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, vol. 14, no. 2, Jun. 2013, doi: 10.29122/jsti.v14i2.919.
- [2] Cakrawati Sudjoko, "Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan Sebagai Solusi Untuk Mengurangi Emisi Karbon," *Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 54–68, 2021.
- [3] "Baterai Mobil Listrik: Jenis, Kapasitas, hingga Harga | Wuling." Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://wuling.id/id/blog/autotips/6-jenis-baterai-mobil-listrik-cara-perawatannya>
- [4] "Yang Perlu Anda Ketahui Tentang Baterai untuk Mobil Listrik." Accessed: Jul. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.way.com/id/blog/semua-yang-perlu-Anda-ketahui-tentang-baterai-untuk-mobil-listrik/>
- [5] "Baterai Mobil Listrik Mahal Ternyata Karena Ini." Accessed: Jul. 29, 2024. [Online]. Available: <https://voi.id/teknologi/208407/baterai-mobil-listrik-mahal-ternyata-karena-ini>
- [6] Y. Liu, Q. Sun, W. Li, K. R. Adair, J. Li, and X. Sun, "A comprehensive review on recent progress in aluminum–air batteries," Jul. 01, 2017, *KeAi Publishing Communications Ltd.* doi: 10.1016/j.gee.2017.06.006.
- [7] P. G. Bruce, S. A. Freunberger, L. J. Hardwick, and J.-M. Tarascon, "Li–O<sub>2</sub> and Li–S batteries with high energy storage," *Nat Mater*, vol. 11, no. 1, pp. 19–29, Jan. 2012, doi: 10.1038/nmat3191.
- [8] M. R. Harahap, "Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi," *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, Jul. 2016, doi: 10.22373/crc.v2i1.764.
- [9] David. Linden and T. B. Reddy, *Handbook of batteries*. McGraw-Hill, 2002.
- [10] S. V. Chasteen, N. D. Chasteen, and P. Doherty, "The Salty Science of the Aluminum–Air Battery," *Phys Teach*, vol. 46, no. 9, pp. 544–547, Dec. 2008, doi: 10.1119/1.3023656.
- [11] Y. Liu, Q. Sun, W. Li, K. R. Adair, J. Li, and X. Sun, "A comprehensive review on recent progress in aluminum–air batteries," Jul. 01, 2017, *KeAi Publishing Communications Ltd.* doi: 10.1016/j.gee.2017.06.006.
- [12] D. R. Lide, M. Eleanor Lide David Alston Lide, and J. Grace Eileen Lide David Austell Whitcomb Kate Elizabeth Whitcomb, "CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th Edition, 2003-2004," 2003.
- [13] P. Vany, "Standard Potentials in Aqueous Solutions," Marcel Dekker, 1978.



- [14] S. Zaenab, N. Haq, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, "Analisis Pembangkit Elektrik Menggunakan Media Air Garam Sebagai Larutan Elektrolit."
- [15] B. Kunsah, K. Nastiti, and A. Dan Diah, "Analisa Cemaran Logam Berat (Pb, Cd, Zn) Pada Makanan Dan Minuman Kemasan Kaleng Dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)," *Surabaya: The Journal of Muhamadiyah Medical Laboratory Technologist*, vol. 1, no. 4, pp. 100–110, 2021.
- [16] E. Kurniawan, B. S. Aprillia, and I. M. W. Hasan, "The analysis of electrolyte water by using electrolysis cell and Galvani cell as electrical power storage," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/830/3/032041.
- [17] P. By ALLDATASHEETCOM, "Datasheet Search Site | [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)." [Online]. Available: [www.panasonic.com/industrial/batteries-oem](http://www.panasonic.com/industrial/batteries-oem),