

Pengaruh Molaritas Cairan KOH dan Pembuatan Karbon Grafit sebagai Katalis dengan Dua Jenis Pelat Elektroda Berbeda terhadap Keluaran Baterai Aluminium-Udara

1st Mochamad Gattan Kertanegara
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

gattankerta@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ekki.kurniawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Wahmisari Priharti
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

wpriharti@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini mengkaji pengaruh molaritas cairan elektrolit KOH dan penggunaan karbon grafit sebagai katoda terhadap performa baterai aluminium-udara. Dalam studi ini, berbagai molaritas 1–5 mol diuji untuk menentukan pengaruhnya terhadap tegangan keluaran, resistansi internal, dan laju penurunan tegangan baterai. Selain itu, dua jenis pelat elektroda berbeda aluminium dan *stainless steel* diuji untuk mengevaluasi kinerjanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa molaritas 1 mol menghasilkan penurunan tegangan yang paling lambat, sementara penggunaan pelat aluminium-stainless steel meningkatkan tegangan keluaran dibandingkan dengan kombinasi pelat aluminium-aluminium. Penggunaan karbon grafit sebagai katalisator juga terbukti meningkatkan efisiensi reaksi redoks pada katoda, yang berkontribusi pada peningkatan kinerja baterai. Penelitian ini memberikan informasi penting untuk optimalisasi desain baterai aluminium-udara yang efisien dan memiliki penurunan tegangan yang lebih lambat.

Kata kunci— *Baterai Aluminium-Udara, Molaritas Elektrolit, Karbon Grafit, Reaksi Redoks, Tegangan Keluaran, Efisiensi Baterai*

I. PENDAHULUAN

Baterai adalah perangkat yang dapat menyimpan energi kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik ketika dibutuhkan[1]. Baterai memiliki berbagai jenis, ukuran, dan kapasitas tergantung pada bahan, desain, dan aplikasinya. Salah satu jenis baterai yang sedang dikembangkan adalah baterai udara. Baterai udara adalah jenis baterai yang menggunakan udara sebagai sumber oksigen untuk reaksi pada katoda[2]. Baterai udara memiliki keunggulan berupa energi spesifik yang lebih tinggi daripada baterai konvensional, karena tidak perlu menyimpan oksigen di dalam baterai. Baterai udara juga dianggap menjanjikan karena tidak menghasilkan limbah berbahaya dan dapat didaur ulang[3]. Beberapa contoh baterai udara adalah baterai lithium-udara, baterai aluminium-udara, dan baterai silikon-udara[4]. Selain itu, penggunaan energi terbarukan seperti solar cell telah terbukti efektif dalam mendukung berbagai aplikasi, termasuk dalam proses elektrolisis. Penelitian

menunjukkan bahwa satu daya berbasis solar cell mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mendukung proses elektrolisis, menghasilkan air alkali dengan pH yang sesuai, dan memperlihatkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sistem elektrokimia[5].

Di antara berbagai baterai logam-udara yang ada, baterai aluminium-udara memiliki energi spesifik yang tinggi dibandingkan dengan baterai logam-udara lainnya yaitu sekitar 1300-2000 Wh/kg, yang jauh lebih besar daripada baterai lithium-ion (100-265 Wh/kg) atau baterai nikel-kadmium (40-60 Wh/kg)[1]. Hal ini berarti baterai aluminium-udara dapat menyimpan lebih banyak energi dalam berat yang lebih ringan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan daya keluaran dan menjaga kestabilan baterai udara.

Namun, baterai udara juga memiliki beberapa tantangan yang perlu diatasi, salah satunya adalah daya keluaran baterai yang masih terlampau kecil dan tidak stabil. Daya keluaran baterai dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti resistansi internal baterai, suhu operasi, kondisi lingkungan, dan metode pengisian baterai[6]. Baterai udara memiliki resistansi internal yang lebih besar daripada baterai konvensional, karena adanya proses difusi oksigen dari udara ke elektrolit[7]. Selain itu, baterai udara juga rentan terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara, sehingga mempengaruhi kinerja dan penurunan tegangan baterai[8].

Struktur dasar baterai udara terdiri dari logam anoda, katoda udara, dan elektrolit yang sesuai. Media elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, maupun garam[9]. Elektrolit biasanya terdiri dari natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), atau natrium klorida (NaCl)[10]. Pada penelitian sebelumnya, baterai logam udara disusun dengan elektrolit berupa air laut[11]. Air laut memiliki kandungan magnesium sebesar 0,1292% dan dianggap aman bagi lingkungan. Namun, kandungan garam yang tinggi pada air laut bersifat agresif terhadap bahan lain sehingga mudah menyebabkan korosi[12]. Oleh karena itu, dilakukan pengujian terhadap variasi elektrolit untuk menghasilkan konduktivitas yang paling optimal.

Dalam penelitian kali ini, dilakukan pengujian terhadap variasi elektrolit yang akan digunakan untuk menghasilkan

konduktivitas yang paling optimal. Salah satu pilihan Alternatif penyimpanan energi yang paling aman, mudah dan dapat didaur ulang adalah baterai aluminium udara. Baterai aluminium-udara memiliki energi spesifik yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan baterai litium dan sejenisnya. Umumnya, anoda yang digunakan pada jenis baterai udara berupa Li, Ca, Mg, Al, Fe, dan Zn, sedangkan yang berperan sebagai katoda adalah udara[9].

Salah satu aplikasi potensial dari baterai udara adalah untuk memenuhi kebutuhan penerangan di daerah tertinggal. Banyak daerah tertinggal yang masih mengalami kesulitan untuk mendapatkan pasokan listrik yang memadai dan terjangkau, terutama di daerah terpencil dan terisolir[13]. Baterai udara dapat menjadi solusi alternatif untuk menyediakan sumber energi listrik yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan mudah digunakan di daerah tertinggal. Pada penelitian kali ini, baterai aluminium-udara dirancang untuk menyalakan lampu LED, yang memiliki konsumsi energi yang rendah dan umur pakai yang lama[14]. Dengan demikian, baterai udara dapat memberikan manfaat sosial, ekonomi, dan lingkungan bagi masyarakat di daerah tertinggal.

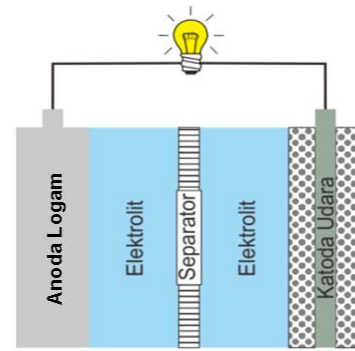
Dalam jurnal ini, akan dilakukan serangkaian eksperimen dan analisis untuk memahami pengaruh molaritas cairan elektrolit dan bahan karbon grafit serta pengaruh dua jenis pelat yang berbeda terhadap output baterai aluminium-udara. Tujuan utamanya adalah untuk mengoptimalkan kinerja baterai aluminium-udara dan memaksimalkan output baterai.

Dari permasalahan yang sudah dipaparkan, maka dibutuhkan baterai aluminium-udara yang memiliki tegangan dan daya keluaran yang tinggi serta stabil dibandingkan dengan penelitian baterai sebelumnya agar baterai udara dapat digunakan sebagai pencatu lampu penerangan jalan umum di daerah tertinggal. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan baterai udara dengan performa yang lebih baik dan stabil, serta dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, khususnya untuk penerangan di daerah tertinggal. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme kerja baterai udara dan faktor-faktor yang mempengaruhi kerjanya.

II. KAJIAN TEORI

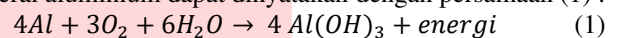
A. Baterai Aluminium-Udara

Baterai aluminium-udara adalah jenis baterai metal-air yang menggunakan aluminium sebagai anoda dan oksigen dari udara sebagai katoda. Keunggulan utama dari baterai aluminium-udara adalah energi spesifik yang sangat tinggi, yang dapat mencapai 1300-2000 Wh/kg, jauh lebih besar dibandingkan dengan baterai lithium-ion atau nikel-kadmium. Prinsip kerja baterai ini melibatkan oksidasi aluminium di anoda dan reduksi oksigen di katoda, menghasilkan energi listrik.



GAMBAR 1
Struktur baterai aluminium udara

Gambar 1 adalah struktur dasar baterai aluminium udara oksidasi terletak pada bagian anoda yaitu aluminium dan reduksi terletak pada katoda yang bereaksi dengan karbon grafit yang menghasilkan listrik[1]. Reaksi keseluruhan baterai aluminium dapat dinyatakan dengan persamaan (1) :



Persamaan (1) adalah keseluruhan reaksi dari baterai aluminium udara yang menghasilkan energi. Energi yang dihasilkan dalam proses ini berasal dari reaksi eksotermik antara aluminium dan oksigen. Ketika aluminium teroksidasi, sejumlah besar energi dilepaskan karena pembentukan ikatan $Al-OH$ dalam produk aluminium hidroksida. Reaksi ini merupakan sumber utama energi listrik yang dapat diekstraksi dari baterai aluminium-udara[15].

B. Elektrolisis

Baterai aluminium-udara adalah jenis baterai logam-udara yang memanfaatkan aluminium sebagai anoda dan oksigen dari udara sebagai katoda. Proses elektrokimia yang terjadi dalam baterai ini sangat dipengaruhi oleh jenis elektrolit yang digunakan. Larutan NaCl atau air garam juga telah terbukti efektif sebagai elektrolit dalam berbagai sel elektrokimia. Dalam sebuah penelitian, air garam dengan konsentrasi salinitas 10% yang digunakan bersama dengan elektroda karbon (C) dan seng (Zn) dalam sel galvanik mampu menghasilkan tegangan hingga 1,8 volt. Temuan ini menunjukkan bahwa NaCl bisa menjadi pilihan alternatif untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan energi dalam sel elektrolit[16]. Hal ini membuktikan bahwa air laut dapat menjadi elektrolit yang efisien dan ramah lingkungan, yang dapat digunakan dalam aplikasi elektrokimia seperti baterai aluminium-udara, terutama di wilayah yang memiliki akses terbatas terhadap bahan kimia khusus seperti KOH[17]. Elektrolit adalah medium yang memungkinkan aliran ion antara anoda dan katoda, sehingga reaksi elektrokimia dapat terjadi. Dalam penelitian ini, akan mengkaji penggunaan jenis elektrolit yaitu kalium hidroksida (KOH).

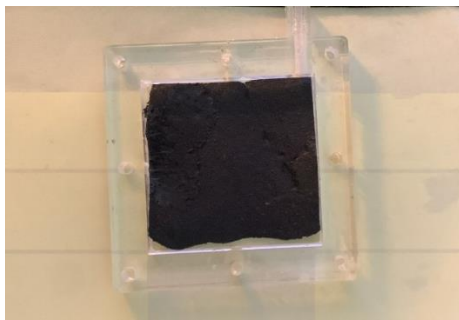


GAMBAR 2
Kalium Hidroksida

Pemilihan cairan elektrolisis yang ditunjukkan gambar didasari oleh sifat konduktivitas ionik cairan agar mendukung kinerja dan efisiensi dari baterai aluminium udara

C. Katoda udara dan Karbon grafit

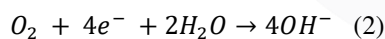
Sistem dari baterai aluminium udara adalah energi yang memanfaatkan oksigen dari udara sebagai pengoksidasi pada katoda dan aluminium sebagai anoda. Penggunaan karbon grafit sebagai material katoda dalam penelitian ini memberikan beberapa keuntungan karena sifat konduktifnya yang tinggi dan luas permukaan yang besar, yang dapat meningkatkan efisiensi reaksi reduksi oksigen.



GAMBAR 3
Karbon grafit 4 cm x 4 cm

Pembuatan karbon grafit pada penelitian ini berdasarkan ukuran dari 1 sel baterai. Ukuran 1 sel baterai adalah 7 x 7 cm, sedangkan tempat untuk menyimpan bahan utama seperti karbon grafit, plat aluminium dan separator serta tempat cairan elektrolisis yaitu berkisar 4 x 4 cm.

Reaksi reduksi yang berlangsung pada persamaan (2) sebagai berikut :



Penjelasan reaksi pada persamaan (2) adalah Oksigen (O_2) dari udara memasuki katoda dan bersentuhan dengan permukaan grafit, lalu Elektron (e^-) yang berasal dari anoda melalui sirkuit eksternal ditransfer ke oksigen. Air (H_2O) berperan sebagai pelarut yang menyediakan molekul air untuk reaksi. Oksigen menerima empat elektron ($4e^-$) dan bereaksi dengan dua molekul air ($2H_2O$) untuk membentuk empat ion hidroksida ($4OH^-$). Adapun mekanisme reaksi bisa digolongkan dengan beberapa tahap, pertama yaitu difusi oksigen dari udara berdifusi ke permukaan katoda grafit, kedua Adsorpsi Oksigen, oksigen diadsorpsi pada permukaan grafit, yang memiliki situs aktif untuk reaksi. Ketiga Transfer elektron, elektron ditransfer dari permukaan grafit ke

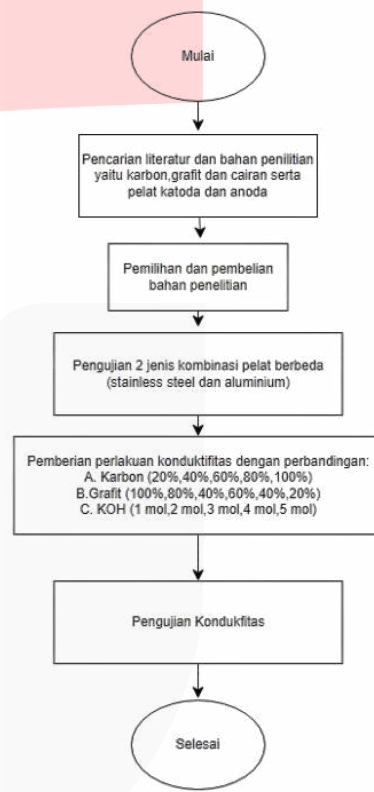
molekul oksigen yang teradsorpsi. Elektrolisis dan terakhir Reaksi dengan air, oksigen yang telah menerima elektron bereaksi dengan air yang tersedia di elektrolit untuk membentuk ion hidroksida.

III. METODE

Penelitian ini adalah riset terapan yang menggunakan pendekatan eksperimen. Penelitian eksperimen bertujuan untuk mengetahui dampak dari suatu perlakuan yang secara sengaja diberikan oleh peneliti. Perlakuan dalam eksperimen ini dikenal sebagai treatment, yang merupakan variasi tertentu yang diberikan untuk menilai efeknya [18]

A. Pembuatan Karbon Grafit dan Pemilihan Cairan

Elektrolisis dilakukan dengan tahap-tahap pada Gambar 6.



GAMBAR 4
Diagram alur penelitian

Hasil pengujian konduktivitas material yang diuji serta cairan yang cocok digunakan untuk baterai aluminium-udara dianalisis berdasarkan hasil tegangan baterai dan perbandingan yang ditentukan. Tegangan tertinggi yang dihasilkan dari kombinasi material dan cairan akan digunakan untuk setiap sel baterai aluminium-udara, yang kemudian akan digabungkan menjadi satu sistem baterai aluminium-udara.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian terhadap cairan perekat dengan Komposisi Perbandingan Karbon dan Grafit

Sebelum melakukan pengujian konduktivitas dari cairan perekat ada beberapa alat atau utilitas untuk dibutuhkan untuk menunjang pengujian.



GAMBAR 5
Bahan dan alat penelitian

Alat dan bahan yang ditunjukkan berfungsi untuk mendukung penelitian. Alat-alatnya meliputi multimeter untuk mengukur hambatan, timbangan digital untuk menimbang, penggaris untuk jarak hambatan grafit, papan perbandingan untuk rasio karbon-grafit, dan pipet untuk meneteskan air. Bahan yang digunakan adalah lem kayu, lem kertas, lem pipa, lem poster, dan air aquades. Setelah persiapan, dilakukan uji konduktivitas untuk mengukur hambatan berbagai jenis perekat. Pengukuran hambatan dilakukan dengan multimeter sebelum dan sesudah penambahan air untuk mengencerkan perekat.



Gambar 6 Karbon grafit sebelum diberikan air

Gambar 6 adalah gambar sebelum karbon grafit diberi air dan lem kertas. Untuk hasil data dari setiap perlakuan karbon grafit ditampilkan pada tabel berikut

TABEL 1

Perbandingan Hambatan Karbon Grafit 1:4 dan 2:3

Cairan Perekat	Jarak (cm)	Besar Hambatan (kOhm)			
		1 : 4		2 : 3	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Lem Kertas	1	0,59	2,4	20,3	25,2
	2	1,20	3,2	35,6	29,5
	4	2,4	3,8	40,1	30,7
Lem PVC	1	20,5	30,01	0,0035	80,11
	2	17,03	25,6	0,0025	54,1
	4	30,45	18,4	0,0037	160,34
Lem Kayu	1	5,2	26,79	26,08	38,79
	2	2,4	29,65	54,6	80,7
	4	6,7	36,14	69,7	99,4
Lem Poster	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	4	-	-	-	-

TABEL 2

Perbandingan Hambatan Karbon Grafit 3:2 dan 4:1

Cairan Perekat	Jarak (cm)	Besar Hambatan (kOhm)			
		3 : 2		4 : 1	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Lem Kertas	1	210,01	110,44	90,22	138,45
	2	277,4	190,02	130,4	187,76
	4	356	210,11	201,7	276,55
Lem PVC	1	-	39,7	0,00174	128,7
	2	-	117,2	0,00228	82,5
	4	-	209,7	0,00361	373,37
Lem Kayu	1	22,4	21,9	79,7	80,1
	2	70,5	40,8	151,8	171,9
	4	101,6	122,5	400,1	424,1
Lem Poster	1	-	-	-	-
	2	-	-	-	-
	4	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 1, nilai hambatan pada cairan perekat sebelum dan sesudah penambahan air dengan berbagai perbandingan karbon dan grafit menunjukkan perubahan nilai hambatan, baik meningkat maupun menurun, kecuali pada lem poster yang tidak menunjukkan hambatan sama sekali (bernilai 0).

Tabel 2 menunjukkan bahwa cairan perekat tersebut bukan konduktor atau tidak dapat menghantarkan listrik. Berdasarkan Tabel 2, nilai hambatan terbaik pada cairan perekat diperoleh dari lem kertas dan lem kayu. Hal ini karena semua variasi perbandingan karbon dan grafit menghasilkan hambatan, dan meskipun terjadi lonjakan perubahan hambatan, nilai hambatan tetap kecil. Jika dilihat dari perbandingan karbon dan grafit, lem kertas serta lem kayu dengan perbandingan 1:4 memiliki nilai hambatan terbaik. Setelah mengetahui nilai hambatan cairan perekat yang diuji, karakteristik masing-masing cairan perekat dijelaskan.

TABEL 3

Karakteristik Cairan Perekat

No	Cairan Perekat	Karakteristik				Sifat
		Tekstur	Daya Serap	Daya Luntur	Warna	
1	Lem Kertas	Halus dan sulit dibentuk	Mudah Kering	Luntur	Doff	Dapat Menghantarkan Listrik
2	Lem PVC	Halus dan sulit dibentuk	Sulit Kering	Luntur	Doff	Dapat Menghantarkan Listrik
3	Lem Kayu	Kasar dan Mudah dibentuk	Mudah Kering	Tidak Luntur	Doff	Dapat Menghantarkan Listrik
4	Lem Poster	Kasar dan Sulit dibentuk	Sulit Kering	Tidak Luntur	Doff	Tidak dapat Menghantarkan Listrik

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dengan mempertimbangkan karakteristik dan nilai hambatan yang dihasilkan dari masing-masing cairan perekat diatas, maka cairan perekat terbaik yaitu lem kayu dan komposisi karbon

dan grafit sebelum diberi air dengan perbandingan terbaik yaitu 1:4. Katalis campuran grafit dan karbon meningkatkan efisiensi reaksi oksidasi oksigen di katoda udara, sehingga baterai dapat menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi [19].

Setelah kombinasi perbandingan karbon grafit

Tabel 4

Sel Baterai	Tegangan Baterai dengan Katalisator (V)	Tegangan Baterai tanpa Katalisator (V)
1	1,31	1,13
2	1,33	1
3	1,35	1,21
4	1,3	1,1
5	1,32	1

ditentukan, pengujian katalisator dilakukan untuk melihat pengaruh dari bahan katalisator itu sendiri dalam membantu proses elektrolisis.



GAMBAR 7

Hasil tegangan sel baterai yang menggunakan katalis dan tidak

Pada Gambar 7 penggunaan katalisator berpengaruh terhadap voltase keluaran baterai. Pada baterai dengan katalisator menghasilkan tegangan baterai 1,31 volt sedangkan pada baterai yang tidak menggunakan katalisator hanya mendapatkan 1,13 volt. Hasil data percobaan dengan beberapa sel baterai akan ditampilkan pada Tabel 4.

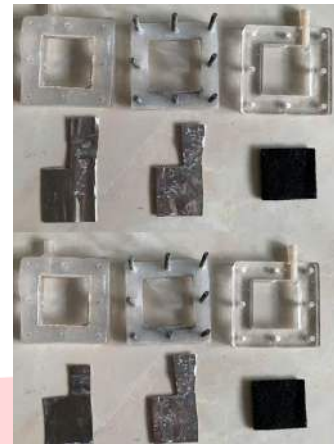
Penggunaan katalisator karbon grafit secara konsisten meningkatkan tegangan sel baterai dibandingkan dengan sel tanpa katalisator. Sel dengan katalisator menghasilkan tegangan antara 1,3 V hingga 1,35 V, sedangkan tanpa katalisator hanya 1 V hingga 1,21 V. Peningkatan tegangan ini menunjukkan bahwa katalisator karbon grafit efektif mempercepat reaksi redoks dan meningkatkan efisiensi konversi energi dalam baterai [16].

Efisiensi katalisator karbon grafit meningkat melalui dua mekanisme utama: menyediakan permukaan yang lebih luas untuk reaksi redoks dan menurunkan energi aktivasi, sehingga reaksi terjadi lebih cepat. Modifikasi elektroda grafit dengan graphene oxide, misalnya, meningkatkan luas permukaan aktif dan performa baterai [17].

B. Pengujian Dua Kombinasi Jenis Pelat Elektroda Berbeda

Setelah komposisi katalisator telah ditentukan yaitu 1:4 berdasarkan efisiensinya, penggunaan pelat pada baterai juga menjadi pertimbangan karena mempengaruhi keluaran baterai. Pada penelitian ini pengujian pelat yang digunakan adalah pelat aluminium dan stainless steel. Pemilihan pelat

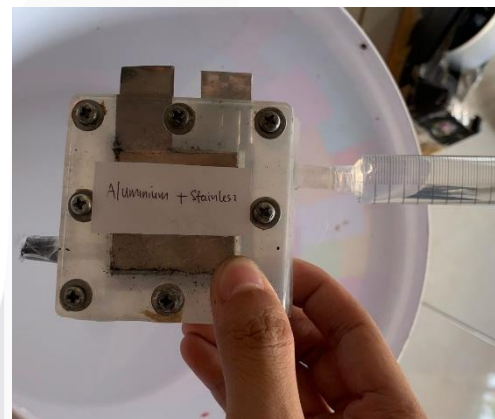
ini didasari dari ketersediaan bahan. Pengujian pelat meliputi keluaran yang dihasilkan dari beberapa kombinasi jenis pelat.



Gambar 8

Struktur susunan material baterai yang diuji

Pada gambar 8 merupakan struktur dalam baterai yang akan diuji. Perbedaan struktur susunan material baterai terletak pada kombinasi pelat. Baterai pertama menggunakan dua pelat aluminium digunakan sebagai katoda dan anoda. Baterai kedua menggunakan dua jenis pelat yaitu aluminium sebagai anoda dan stainless steel sebagai katoda. Setelah kombinasi pelat telah ditentukan, pengujian keluaran pada tiap kombinasi pelat dilakukan.



GAMBAR 9

Pengisian baterai menggunakan cairan KOH

Sebelum pengujian keluaran dilakukan pada setiap kombinasi pelat baterai, pengisian cairan dilakukan menggunakan konsentrasi KOH sebesar 1 mol. Pemilihan konsentrasi 1 mol didasarkan pada pertimbangan bahwa reaksi yang dihasilkan cenderung memiliki rentang korosi yang kecil terhadap pelat, sehingga baterai dapat diuji dalam rentang waktu yang cukup lama untuk menghasilkan data yang lebih akurat.

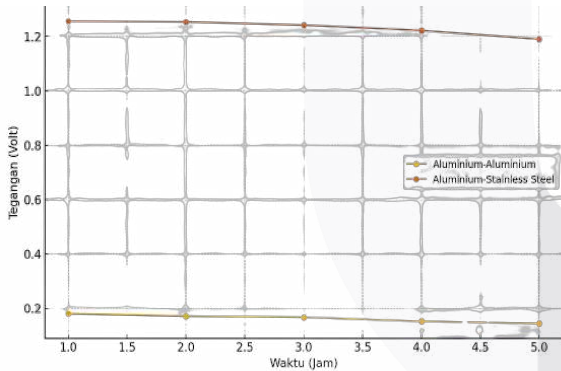


GAMBAR 10

Hasil pengujian baterai dengan kombinasi pelat aluminium dan stainless steel

Pengujian baterai dengan kombinasi pelat dilakukan selama 5 jam, dengan pengecekan hasil setiap 1 jam. Pada gambar, baterai dengan kombinasi pelat aluminium dan stainless steel menunjukkan tegangan sebesar 1,256 volt pada pengujian jam pertama. Hasil lengkap dari seluruh pengujian kombinasi baterai akan dijelaskan pada Tabel.

Pada kedua pelat terbuat dari kombinasi aluminium-aluminium, memiliki potensi elektrokimia yang sama. Karena tidak ada perbedaan besar dalam potensi elektrokimia antara dua pelat aluminium, reaksi elektrokimia yang terjadi kurang efisien. Hal ini mengakibatkan tegangan yang dihasilkan relatif rendah. Kombinasi pelat aluminium dan stainless steel menciptakan perbedaan yang signifikan dalam potensi elektrokimia antara dua pelat. Aluminium memiliki Potensial reduksi standar: $E^\circ = -1,66 \text{ V}$ (terhadap elektroda standar hidrogen) elektrokimia yang lebih negatif dibandingkan *stainless steel*. Perbedaan ini meningkatkan efisiensi reaksi elektrokimia, menghasilkan tegangan yang lebih tinggi.



GAMBAR 11

Perbandingan dua jenis kombinasi pelat

Gambar 11 menunjukkan perbandingan tegangan antara elektroda Aluminium-Aluminium dan Aluminium-Stainless Steel selama 5 jam. Tegangan pada Aluminium-Aluminium menurun dari 0,180 Volt pada jam pertama menjadi 0,144 Volt pada jam kelima. Sebaliknya, Aluminium-Stainless Steel menunjukkan tegangan yang lebih tinggi, dari 1,256 Volt pada jam pertama menjadi 1,190 Volt pada jam kelima.

Kombinasi Aluminium-Stainless Steel lebih efektif karena perbedaan potensi elektrokimia yang lebih besar, meningkatkan efisiensi reaksi redoks. Aluminium sebagai anoda mengalami oksidasi, sementara stainless steel sebagai katoda mengalami reduksi. Stainless steel juga lebih tahan korosi, memperpanjang umur elektrode dan mempertahankan tegangan lebih tinggi.

Secara keseluruhan, kombinasi Aluminium-Stainless Steel menghasilkan tegangan lebih tinggi dan lebih konsisten dibandingkan Aluminium-Aluminium, berkat perbedaan potensi elektrokimia dan ketahanan korosi yang lebih baik.

C. Pengujian Keluaran Baterai Aluminium terhadap Rentang Konsentrasi Cairan Elektrolit KOH

Penelitian ini menggunakan pelat tembaga 0,3 mm sebagai katoda dan aluminium 0,2 mm sebagai anoda karena konduktivitasnya yang baik. Tujuannya adalah untuk menguji pengaruh konsentrasi KOH (1-5 mol) pada elektrolit baterai aluminium-udara.

Parameter yang diuji meliputi tegangan open circuit, tegangan dengan resistor eksternal 120 Ω, efisiensi penghantaran arus, dan resistansi internal. Pengujian dilakukan selama lima jam dengan pengukuran tegangan, arus, dan resistansi setiap jam untuk memahami bagaimana konsentrasi KOH mempengaruhi kinerja baterai.

Dalam pengujian ini penggunaan molaritas didasari

TABEL 5
Perbandingan dua jenis kombinasi pelat

Waktu (Jam)	Aluminium – Aluminium (Volt)	Aluminium-Stainless Steel (Volt)
1	0,180	1,256
2	0,170	1,253
3	0,166	1,241
4	0,152	1,222
5	0,144	1,190

menggunakan perhitungan pengukuran molaritas (M) suatu zat, seperti KOH, dalam larutan adalah konsep dasar dalam kimia yang digunakan untuk menentukan konsentrasi zat terlarut dalam suatu larutan. Molaritas didefinisikan sebagai jumlah mol zat terlarut yang terlarut dalam satu liter larutan (mol/L).

Dalam pengujian ini dalam menghitung molaritas zat perlu diketahui $M_r \text{ KOH}$. M_r adalah Massa atom relatif sebuah zat dalam satuan (g/mol), pada KOH M_r nya sekitar 56,11 g/mol.



GAMBAR 12
Pembuatan 1 Mol KOH

Pada gambar adalah perbandingan massa dari KOH dan air yang digunakan dalam membuat 1 mol KOH. Penggunaan 100 ml digunakan dengan menggunakan persamaan (3) berikut[21] :

$$M = \frac{\eta}{V} \quad (3)$$

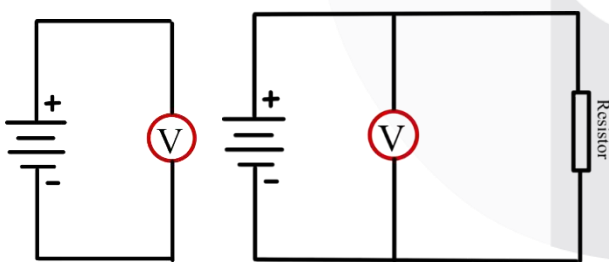
Dimana V adalah volume larutan dalam liter dan η adalah M_r dari zat KOH. Jadi penggunaan KOH dalam 1 mol adalah 5,6 gram dengan perbandingan air sebagai pelarutnya 100 ml.



GAMBAR 13
Baterai dan Konsentrasi Larutannya

Setelah semua persiapan selesai dan multimeter sebagai alat pengukur output baterai sudah disiapkan, pengujian dilakukan dalam dua kondisi. Kondisi pertama adalah saat baterai dirangkai dalam konfigurasi sirkuit terbuka (open circuit), yaitu ketika baterai tidak dihubungkan dengan beban eksternal. Dalam kondisi ini, multimeter mengukur tegangan maksimum yang tersedia dari baterai, yang dikenal sebagai tegangan open circuit. Pengujian ini berguna untuk menentukan tegangan maksimum yang dapat disuplai oleh baterai ketika tidak ada arus yang mengalir.

Kondisi kedua adalah saat baterai dirangkai dalam rangkaian resistif, yaitu ketika baterai dihubungkan dengan hambatan atau beban. Dalam konfigurasi ini, multimeter digunakan untuk mengukur arus yang mengalir melalui rangkaian dan tegangan yang jatuh pada resistor. Pengujian ini memberikan informasi tentang kemampuan baterai untuk menyediakan arus ketika ada beban, serta efisiensi dan karakteristik baterai dalam kondisi operasional.



GAMBAR 14
Rangkaian Open Cricuit dan Resesitif

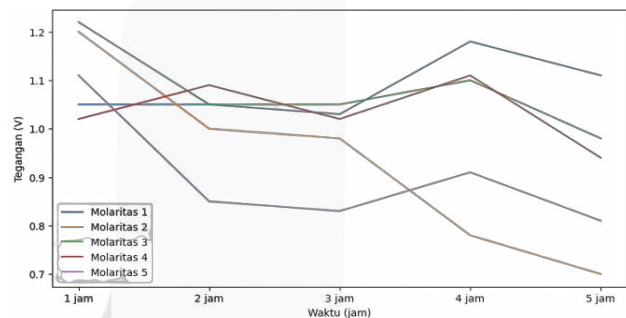
Fungsi dari pengujian dua kondisi ini adalah pertama, pengujian open circuit untuk menilai tegangan maksimal yang dapat diberikan oleh baterai dalam kondisi tanpa beban. Ini penting untuk mengetahui potensi penuh baterai. Kedua, pengujian resesitif berfungsi untuk Menilai performa baterai saat dihubungkan dengan beban nyata, termasuk kemampuan baterai untuk mengalirkan arus dan mengukur tegangan di bawah beban. Ini penting untuk mengetahui bagaimana baterai akan berfungsi dalam aplikasi praktis.

Pengujian molaritas dilakukan selama 5 jam untuk memantau perubahan yang mungkin terjadi pada konsentrasi baterai seiring berjalannya waktu. Pengecekan dilakukan setiap 1 jam untuk mendapatkan data yang lebih rinci dan akurat mengenai fluktuasi konsentrasi dan tegangan baterai. Dengan melakukan pengecekan secara berkala, diharapkan data yang diperoleh lebih konsisten dan akurat, sehingga dapat dianalisis dengan lebih baik dan memiliki keandalan tinggi.



GAMBAR 15
Hasil Keluaran Baterai dengan Konsentrasi 1

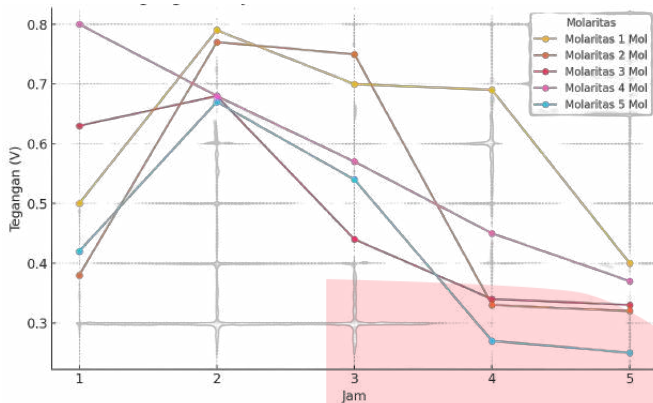
Pada gambar 15 keluaran tegangan dalam kondisi rangkaian open circuit yang dihasilkan 1 mol dalam jam pertama adalah 1,05 V untuk hasil percobaan tiap mol/jam akan ditampilkan pada gambar.



GAMBAR 16
Tegangan open circuit

Pada Gambar 16, tegangan sirkuit terbuka untuk molaritas 1 berada di sekitar 1,05 V dari jam pertama hingga ketiga, kemudian meningkat signifikan menjadi 1,18 V pada jam keempat, dan sedikit menurun menjadi 1,11 V pada jam kelima. Ini menunjukkan kemampuan sistem untuk meningkatkan tegangan seiring waktu. Tegangan sirkuit terbuka pada molaritas 2 menurun dari 1,2 V pada jam pertama menjadi 0,7 V pada jam kelima, menunjukkan degradasi sistem. Molaritas 3 menunjukkan tegangan antara 1,05 V hingga 1,22 V, dengan sedikit penurunan menjadi 0,98 V pada jam kelima. Molaritas 4 berkisar antara 1,02 V hingga 1,11 V, dengan sedikit penurunan menjadi 0,94 V pada jam kelima. Tegangan pada molaritas 5 menurun dari 1,11 V pada jam pertama menjadi 0,81 V pada jam kelima, menunjukkan kerusakan sistem. Molaritas 1 menunjukkan performa terbaik dengan penurunan tegangan yang lebih lambat dan peningkatan tegangan signifikan pada jam keempat, menjadikannya unggul dalam hal penurunan tegangan dan kemampuan meningkatkan daya. Selain pengujian tegangan sirkuit terbuka, pengujian dengan

hambatan 120 Ω juga dilakukan untuk mengevaluasi performa baterai saat terhubung dengan beban nyata, mengukur kemampuan baterai mengalirkan arus dan tegangan di bawah beban. Hasil pengujian akan ditampilkan dalam gambar berikutnya.



GAMBAR 17
Tegangan per-jam dengan hambatan 120Ω

Pada gambar 17, tegangan cenderung menurun seiring waktu, terlepas dari tingkat molaritasnya. Ini mungkin menunjukkan penurunan reaktan atau faktor lain yang mengurangi efisiensi sel elektrokimia. Pada jam pertama, molaritas yang lebih tinggi 3 mol dan 4 mol menunjukkan tegangan awal yang lebih tinggi dibandingkan molaritas yang lebih rendah, mungkin karena konsentrasi ion yang lebih tinggi mendukung pembentukan tegangan yang lebih besar.

Untuk molaritas 3 mol dan 4 mol, penurunan tegangan yang tajam terjadi pada jam ke-2 dan seterusnya, mungkin karena reaksi cepat pada awalnya mengurangi ion-ion yang tersedia. Molaritas 1 mol dan 2 mol menunjukkan penurunan yang lebih lambat, mungkin karena konsentrasi ion yang lebih rendah menyebabkan reaksi yang lebih lambat dan bertahap.

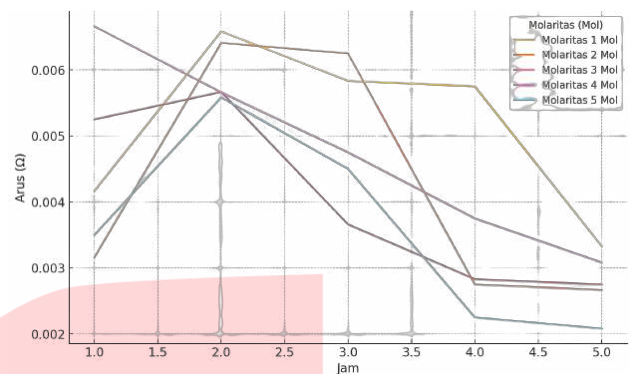
Tegangan pada konsentrasi 1 mol tidak mengalami penurunan drastis. Meskipun ada sedikit fluktuasi terutama pada jam kedua dan ketiga, perubahan tegangan berada dalam rentang yang lebih sempit dibandingkan konsentrasi yang lebih tinggi. Konsentrasi 1 mol menunjukkan penurunan tegangan yang lebih bertahap dan tidak ada penurunan tajam seperti pada konsentrasi yang lebih tinggi. Meskipun tegangan yang dihasilkan tidak setinggi konsentrasi yang lebih besar, penurunan tegangan yang lebih bertahap menjadikannya pilihan yang baik jika penurunan tegangan yang lebih lambat diutamakan dibandingkan nilai tegangan awal yang tinggi.

Gambar 17 menunjukkan bahwa ada hubungan yang jelas antara molaritas larutan dan tegangan yang dihasilkan. Molaritas yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tegangan awal yang lebih tinggi, tetapi juga menunjukkan penurunan yang lebih cepat, sementara molaritas yang lebih rendah menunjukkan penurunan tegangan yang lebih lambat.

Setelah mendapatkan hasil dari tegangan yang diberi hambatan atau voltage load, perhitungan arus dan internal resistansi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (4) :

$$I = \frac{V_{load}}{R} \quad (4)$$

V_{load} adalah tegangan setelah diberi hambatan dan R adalah Nilai hambatan yang diberikan. Hasil dari perhitungan arus dapat dilihat pada gambar 18.



GAMBAR 18
Hasil perhitungan arus dengan beban 120 Ω

Pada Gambar 18, arus pada molaritas 1 mol dan 2 mol meningkat tajam dari jam pertama ke jam kedua, kemudian menurun secara bertahap. Misalnya, pada molaritas 1 mol, arus mencapai puncaknya pada jam kedua sekitar 0,006583 A, lalu turun hingga jam kelima. Molaritas 2 mol menunjukkan pola serupa dengan puncak sekitar 0,00641 A pada jam kedua. Molaritas yang lebih tinggi, seperti 4 mol dan 5 mol, juga menunjukkan peningkatan arus pada jam kedua, tetapi penurunannya lebih lambat. Pada jam kelima, arus molaritas 4 mol berada di sekitar 0,003083 A, sementara molaritas 5 mol menunjukkan penurunan arus yang lebih besar setelah puncaknya pada jam kedua. Secara keseluruhan, molaritas mempengaruhi besarnya arus yang mengalir dalam sistem. Molaritas yang lebih tinggi menghasilkan arus awal yang lebih besar, tetapi semua molaritas menunjukkan pola yang sama: arus meningkat pada awalnya, mencapai puncak, lalu menurun. Penurunan arus ini dapat disebabkan oleh habisnya ion-ion yang tersedia untuk konduksi atau terbentuknya produk sampingan yang menghambat aliran arus. Selain itu, perubahan resistansi dalam sistem juga berkontribusi pada tren penurunan arus ini.

Gambar 18 menunjukkan interaksi kompleks antara molaritas, arus, dan waktu, serta pentingnya faktor-faktor seperti konduktivitas ion, reaksi kimia baterai, dan resistansi internal dalam menentukan hasil akhir. Setelah mengetahui arus, resistansi internal dihitung untuk melihat efektivitas dan karakteristik baterai aluminium-udara. Untuk menghitung internal resistansi menggunakan persamaan (5) berikut :

$$R_{int.(ps)} = \frac{(V_{(Open\ circuit)} - V_{(Load)})}{I_{(Load)}} \quad (5)$$

Keterangan :

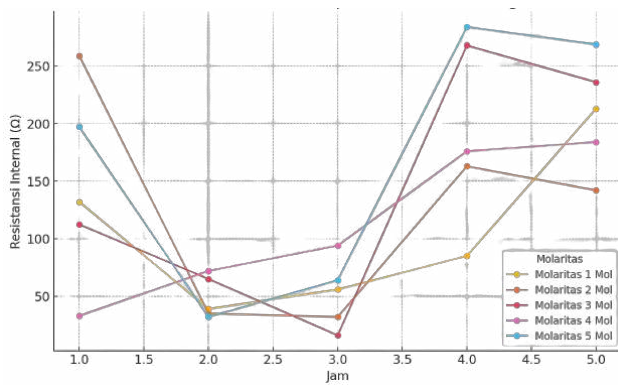
$R_{int.(ps)}$ adalah internal resistansi

$V_{(Open\ circuit)}$ adalah tegangan rangkaian terbuka

$V_{(Load)}$ adalah tegangan saat diberi hambatan 120Ω

$I_{(Load)}$ arus yang telah dihitung

Hasil perhitungan dari internal resistansi tiap mol akan ditampilkan pada gambar 22.



GAMBAR 19
Hasil perhitungan internal resistansi

Pada gambar 19 Pada molaritas 1 mol, resistansi internal dimulai dengan nilai yang cukup tinggi sebesar 132 Ω pada jam pertama, tetapi kemudian turun drastis menjadi 39 ohm pada jam kedua dan ketiga. Pada jam keempat dan kelima, resistansi meningkat kembali, mencapai 213 Ω pada jam kelima.

Untuk molaritas 2 mol, resistansi internal pada awalnya sangat tinggi, mencapai 258,94 Ω , tetapi kemudian menurun drastis menjadi 35 Ω pada jam kedua. Pada jam ketiga, resistansi tetap rendah, tetapi kembali meningkat menjadi 142 Ω pada jam keempat. Untuk Molaritas 3 mol, resistansi pada awalnya sedang, yaitu 112,38 ohm, tetapi kemudian turun drastis menjadi 16 Ω pada jam ketiga. Dibandingkan dengan molaritas lainnya, molaritas 4 mol menunjukkan pola kenaikan yang lebih konsisten. Resistansi internal memulai dengan nilai yang sangat rendah yaitu 33 Ω pada jam pertama dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 184 Ω pada jam kelima. Di sisi lain, Molaritas 5 mol memulai dengan resistansi tinggi sebesar 197,14 Ω , tetapi menurun drastis pada jam kedua menjadi 32 Ω . Pada jam keempat, resistansi meningkat secara signifikan dan mencapai puncaknya pada jam kelima dengan nilai 268,8 Ω .

Grafik ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa molaritas larutan dan waktu sangat memengaruhi perubahan resistansi internal. Molaritas 2 dan 5 menunjukkan pola penurunan yang tajam pada jam kedua, yang mungkin menunjukkan bahwa larutan mengalami perubahan komposisi atau reaksi cepat. Di sisi lain, molaritas 1 menunjukkan kenaikan resistansi yang lebih konsisten, menunjukkan bahwa perubahan lebih bertahap dan konsisten dibandingkan dengan molaritas lainnya. Secara keseluruhan, gambar 22 ini menunjukkan bahwa konsentrasi molaritas berpengaruh dalam menghasilkan resistansi internal dalam sebuah baterai aluminium-udara.

V. KESIMPULAN

Dalam jurnal penelitian ini, pengaruh molaritas cairan elektrolit dan penggunaan karbon grafit sebagai katoda telah dianalisis dengan cukup mendalam. Penelitian ini menunjukkan bahwa molaritas cairan elektrolit KOH dan jenis pelat yang digunakan memiliki dampak signifikan terhadap keluaran tegangan dan penurunan tegangan baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan molaritas elektrolit cenderung menghasilkan tegangan awal yang lebih tinggi, tetapi seiring waktu, tegangan juga menurun lebih

cepat. Molaritas dengan konsentrasi 1 mol paling konsisten, menunjukkan peningkatan tegangan pada jam keempat dan kinerja yang konsisten sepanjang pengujian. Selain itu, ada bukti bahwa penggunaan katalisator karbon grafit meningkatkan efisiensi reaksi redoks pada katoda, yang berkontribusi pada peningkatan tegangan yang dihasilkan baterai. Perbedaan dua jenis elektroda, seperti percobaan pelat dengan jenis stainless steel dan aluminium, mempengaruhi keluaran baterai karena potensi elektrokimia yang lebih besar antara kedua material. Kombinasi pelat aluminium dan stainless steel menunjukkan tegangan dan penurunan tegangan yang lebih baik daripada kombinasi pelat aluminium dan aluminium, meningkatkan efisiensi reaksi elektrokimia.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan informasi untuk mengoptimalkan desain baterai aluminium-udara, terutama dalam memilih molaritas elektrolit dan material katoda. Hal ini dapat membantu mengembangkan baterai yang lebih efisien dan memiliki penurunan tegangan yang lebih lambat.

REFERENSI

- [1] R. Mori, "Recent Developments for Aluminum–Air Batteries," Jun. 01, 2020, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s41918-020-00065-4.
- [2] Respati Sri Mulyo Bondan, Taufiq Muhammad, and Nugroho Agung, "BATERAI ALUMINIUM UDARA DENGAN BAHAN DASAR ZEOLIT ALAM YANG DIPANASKAN SEBAGAI ELEKTRODA," *BATERAI ALUMINIUM UDARA DENGAN BAHAN DASAR ZEOLIT ALAM YANG DIPANASKAN SEBAGAI ELEKTRODA*, vol. 18, no. 1, pp. 74–79, Apr. 2022.
- [3] B. Mardwianta, "PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK PADA BATERAI UDARA DENGAN BAHAN KARBON AKTIF DAN ELEKTROLIT AIR LAUT," *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 3, Dec. 2017, doi: 10.28989/senatik.v3i0.123.
- [4] I. Maulana and A. Chobir, "Studi Elektrokimia Baterai Aluminium-Udara Dengan Silika Xerogel Sebagai Bahan Elektroda," 2019.
- [5] A. Fauziah, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, "SISTEM CATU DAYA PENGHASIL AIR ALKALI DENGAN MODUL SOLAR CELL ALKALINE WATER SUPPLY POWER SYSTEM WITH SOLAR CELL MODULE."
- [6] P. Negeri Cilacap, S. Analisis Rugi-rugi Baterai Tipe Aluminium Udara pada Beban Listrik Statis Hasyir Ahmad Munadi, and N. Hiron, "E-JOINT (Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)," 2021.
- [7] D. Linda Kartika, "ELECTROCATALYST PERFORMANCE FOR OXYGEN REDUCTION REACTION OF MAGNETITE NANOPARTICLE-BASED AS METAL-AIR BATTERY CATHODE."
- [8] C. Revano Mege, S. Eka Marsha Putra, and S. G Siregar, "Prediksi Temperatur Pengosongan Baterai

- Lithium Menggunakan Metode Autoregressive Integrated Moving Average,” *Journal Of Social Science Research*, vol. 3, pp. 10415–10425, 2023.
- [9] P. Takarani and D. Kalapadang, “PEMBUATAN BATERAI SENG UDARA DAN UJI PERFORMANSI DENGAN PERANGKAT ARDUINO”.
- [10] R. Andrian Rizqi Lestari Ningrum Mardiah Pembuatan Silika Dari Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Katoda Udara Pada Baterai Logam Udara, R. Andrian, and R. Lestari Ningrum, “PEMBUATAN SILIKA DARI ABU BOILER KELAPA SAWIT SEBAGAI KATODA UDARA PADA BATERAI LOGAM UDARA FABRICATION OF SILICA FROM PALM OIL BOILER ASH AS AIR CATHODE IN METAL AIR BATTERY.”
- [11] S. Octacezario Rinding, “Rancang Bangun Sistem Pelacakan Panel Surya Dual-Axis untuk Elektrolisis Pembuatan Elektrolit Baterai,” Bandung, Aug. 2023.
- [12] K. Yodyawira and A. Wibowo, “PENGARUH CAMPURAN KADAR BOTTOM ASH DAN LAMA PERENDAMAN AIR LAUT TERHADAP KUAT GESER PADA BALOK.”
- [13] Adi Ahdiat, “Konsumsi Listrik Penduduk Indonesia Naik pada 2022, Capai Rekor Baru,” databoks.
- [14] S. Zhu *et al.*, “Low-Power High-Bandwidth Non-Polar InGaN Micro-LEDs at Low Current Densities for Energy-Efficient Visible Light Communication,” *IEEE Photonics J*, vol. 14, no. 5, Oct. 2022, doi: 10.1109/JPHOT.2022.3204711.
- [15] B. Mardwianta, “Pembangkitan Energi Listrik Pada Baterai Udara Dengan Bahan Karbon Aktif Dan Elektrolit Air Laut,” *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 3, Dec. 2017, doi: 10.28989/senatik.v3i0.123.
- [16] I. Muhammad, W. Hasan, E. Kurniawan, and B. S. Aprillia, “ANALISIS PENGGUNAAN AIR ELEKTROLIT PADA SEL ELEKTROLISIS DAN SEL GALVANI SEBAGAI PENYIMPAN DAYA LISTRIK.”
- [17] H. Siti, E. Kurniawan, and M. Ramdhani, “IMPLEMENTATION OF POWER PLANT USING SALT WATER AS ELECTROLYTE,” 2018.
- [18] I. putu Ade Andre Payadnya and I. gusti agung Ngurah Trisna Jayantika, *Panduan Penelitian Eksperimen Beserta Analisis Statistik dengan SPSS*, 1st ed. Deepulish, 2018.
- [19] Mohammad Jawaid, “Carbon Composite Catalysts,” 1st ed., Jawaid Mohammad and Khan Anish, Eds., Springer Singapore, 2022.
- [20] H. Xia *et al.*, “Catalytic effect of carbon-based electrode materials in energy storage devices,” *Sci China Mater*, vol. 65, no. 12, pp. 3229–3242, 2022, doi: 10.1007/s40843-022-2217-5.
- [21] P. Ralph Herber, Ralph Herber, J. D. , Madura, and C. Bissonnette, *General chemistry : principles and modern applications. / Ralph H. Petrucci, F. Geoffrey Herring and Jeffry D. Madura.*, 10th ed. Toronto: Toronto, Ont. : Pearson Canada, c2011., 2011.