

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Baterai

Baterai (*Battery*) adalah sebuah sumber daya yang merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi listrik yang dapat digunakan seperti pada perangkat elektronik. Hampir semua perangkat elektronik *portable* seperti *handphone*, laptop, dan mainan *remote control* menggunakan baterai sebagai sumber listrik (daya). Dengan adanya baterai, sehingga tidak perlu menyambungkan kabel listrik ke terminal untuk dapat mengaktifkan perangkat elektronik sehingga dapat mudah dibawa. Setiap baterai terdiri dari terminal positif (katoda) dan terminal negatif (anoda) serta elektrolit sebagai media penghantar (Sidiq, 2015).

Prinsip pengoperasian baterai mengandalkan prinsip elektrokimia melalui proses redoks dimana elektroda negatif (anoda) mengalami reaksi oksidasi, dan elektron pada permukaan anoda dilepaskan dan diangkut ke elektroda positif (katoda) oleh ion elektrolit. Elektrokimia adalah reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik, reaksi ini sering disebut reaksi redoks atau disingkat redoks. Reaksi kimia dalam sel elektrokimia sebenarnya terjadi melalui reaksi reduksi-oksidasi (reaksi redoks). Reaksi oksidasi adalah reaksi elektrokimia setengah sel yang terjadi dengan kehilangan elektron, sedangkan reaksi reduksi terjadi dengan memperoleh elektron (Ari & Sutopo, 2019).

2.2 Baterai Logam Udara

Diantara sistem penyimpanan energi baru, baterai logam udara mempunyai kerapatan dan kapasitas energi yang tinggi. Baterai logam-udara merupakan jenis baterai yang menggunakan logam sebagai anoda dan udara (oksigen) sebagai

katoda. Teknologi ini dapat menjadi alternatif untuk mengembangkan sistem penyimpanan energi baru karena memiliki kepadatan energi yang tinggi dibandingkan dengan baterai ion litium. Beberapa jenis baterai logam-udara yang sedang dikembangkan antara lain adalah baterai zinc-udara, lithium-udara, dan Aluminium Oksigen (Liu et al., 2017).

Secara umum, baterai logam udara mempunyai tiga komponen utama yaitu pertama anoda yang berupa bahan logam, kedua adalah elektrolit dimana elektrolit yang paling umum adalah KOH, dan ketiga adalah katoda yang berupa karbon berpori. Ada juga komponen tambahan di beberapa baterai logam udara yaitu separator (pemisah) di dalam sistem baterai tersebut (Lestari & Derman, 2020).

Teori dasar dari baterai logam-udara melibatkan reaksi kimia antara logam di anoda dan oksigen di katoda. Saat baterai digunakan (*discharge*), logam di anoda mengalami oksidasi, sementara oksigen di katoda mengalami reduksi. Misalnya, pada baterai zinc-udara, reaksi yang terjadi adalah oksidasi zinc di anoda dan reduksi oksigen di katoda, menghasilkan listrik.

Tabel 2.1 Parameter Baterai Logam Udara

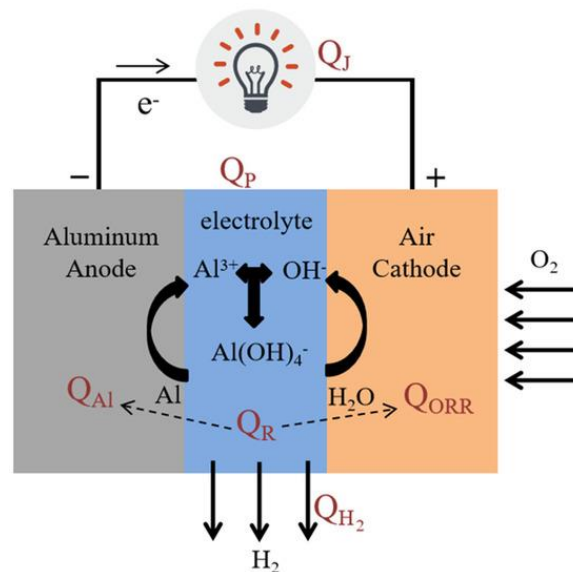
(Liu et al., 2017)

Baterai	Tegangan Teoritis (V)	Kapasitas Teoritis (Ah kg ⁻¹)	Densitas Energi Teoritis (kWh kg ⁻¹)	Tegangan Operasi (V)
Li-udara	3,4	1170	13,0	2,4
Zn-udara	1,6	658	1,3	1,0-1,2
Mg-udara	3,1	920	6,8	1,2-1,4
Na-udara	2,3	687	1,6	2,3
Al-udara	2,7	1030	8,1	1,2-1,6

Kapasitas spesifik dan kepadatan energi baterai logam udara secara teoritis ditunjukkan pada tabel 2.1 Konfigurasi dari baterai logam udara ini terbuka, reagen oksigen dapat langsung diterima dari udara sekitarnya, sehingga akan berkontribusi pada kepadatan energi teoritis. (Liu et al., 2017)

2.3 Baterai Aluminium Oksigen

Baterai Aluminium Oksigen merupakan pembangkit dan penyimpan energi listrik yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar fosil. Baterai Aluminium Oksigen adalah sel primer yaitu tidak dapat diisi ulang.



Gambar 2.1 Struktur Baterai Aluminium Oksigen

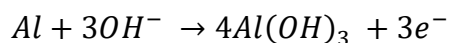
(Cai et al., 2023)

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa baterai Aluminium Oksigen 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 (Maulana et al., 2019).

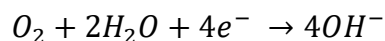
Aluminium adalah elektroda negatif yang mengalami proses oksidasi pada saat discharging baterai. Aluminium teroksidasi atau melepaskan elektron menjadi ion Al^{3+} , katoda udara mereduksi oksigen dari udara dan air yang diperoleh dari elektrolit untuk menghasilkan ion OH^- lalu mengikat ion Al^{3+} dan membantu pelepasan elektron logam aluminium (Maulana et al., 2019).

Reaksi elektrokimia pada baterai Aluminium Oksigen didefinisikan sebagai berikut:

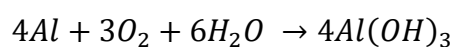
a) Reaksi di anoda:



b) Reaksi di katoda:



c) Reaksi keseluruhan:



Produk $Al(OH)_3$ (aluminium hidroksida) merupakan endapan oksida atau korosi yang terakumulasi pada permukaan aluminium (Maulana et al., 2019).

2.4 Material Komponen Baterai

2.4.1 Elektrolit

Elektrolit berfungsi sebagai bagian penghantar ion dari anoda ke katoda maupun sebaliknya. Karakteristik elektrolit yang penting untuk diperhatikan antara lain konduktivitas, aman (tidak beracun) serta harganya murah. Elektrolit ini terbagi dalam dua jenis yaitu elektrolit cair dan elektrolit padat (Alkalah, 2016). Elektrolit yang biasa digunakan pada baterai Aluminium Oksigen adalah KOH (Kalium Hidroksida).

2.4.2 Kolektor Arus

Kolektor arus atau biasa disebut dengan *current collector* berfungsi sebagai penopang untuk pelapisan elektroda positif maupun elektroda negatif. Bahan yang paling umum digunakan untuk kolektor arus anoda adalah *copper foil*, karena menawarkan konduktivitas listrik yang tinggi dan stabilitas yang baik terhadap reaksi elektrokimia dalam rentang operasi elektroda karbon. Untuk kolektor arus

katoda, *aluminium foil*, *nickel foam*, *stainless steel mesh*, karena memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan reaksi elektrokimia yang stabil pada potensial listrik yang tinggi (Yamada et al., 2020).

2.4.3 Separator

Separator adalah material berpori yang ditempatkan diantara anoda dan katoda, berfungsi untuk mencegah terjadinya hubungan singkat dan kontak antara keduanya. Selain itu, separator harus memungkinkan ion litium melewatinya dengan baik. Separator tidak hanya berperan sebagai pemisah antar elektroda, tetapi juga memiliki peran penting dalam proses pembangkitan listrik, pengisian ulang, dan keamanan baterai litium ion. Beberapa faktor penting dalam pemilihan material separator meliputi sifat isolator, hambatan listrik yang rendah, kestabilan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap degradasi kimia oleh elektrolit, serta ketebalan lapisan yang seragam di seluruh permukaan. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai separator antara lain *polyolefins* (PE dan PP), *Polyvinylidene fluodire* (PVdF), PTFE (teflon), PVC, dan *polyethylene oxide*. (Perdana, 2021)

2.4.4 Katalis

Katalis yang terdapat pada katoda udara merupakan faktor penentu dalam efektifitas kinerja elektroda. Untuk baterai yang menggunakan oksigen sebagai oksidan seperti baterai Aluminium Oksigen, reaksi reduksi oksigen (ORR - *Oxygen Reduction Reaction*) pada katoda sangat penting. Katalis digunakan untuk mempercepat reaksi ini dan meningkatkan efisiensi elektrokimia. Katalis bekerja dengan menyediakan situs aktif untuk reaksi kimia pada permukaan katoda. Dalam konteks ORR, katalis membantu dalam adsorpsi molekul oksigen, memfasilitasi pemutusan ikatan O=O, dan mengatur transfer elektron yang diperlukan untuk

reaksi reduksi. Bahan katalis yang biasa digunakan untuk katalis katoda adalah logam mulia seperti platinum (Pt) dan emas (Au) sering digunakan karena efisiensinya yang tinggi dalam ORR (Kartika, 2018).

2.5 Material Katalis Baterai Aluminium Oksigen

2.5.1 Titanium Dioksida

Titanium dioksida adalah bahan semikonduktor yang memiliki sejumlah besar aplikasi dan merupakan salah satu fotokatalis yang diselidiki paling luas. Hal ini terutama karena sifatnya yang menguntungkan seperti non-toksisitas, *inert*, stabilitasnya yang tinggi dan karakteristik semikonduktornya mampu menghasilkan pembawa muatan yang menyerap energi foton (Benedix et al., 2000).

Titanium dioksida (TiO_2) dapat berfungsi sebagai katalis yang meningkatkan reaksi reduksi oksigen (ORR) pada katoda baterai Aluminium Oksigen. Ini penting untuk meningkatkan efisiensi dan daya baterai. TiO_2 memiliki stabilitas kimia yang baik, yang membantu dalam menjaga kinerja baterai selama penggunaan jangka panjang (Shaddad et al., 2024).

2.5.2 Karbon Aktif

Karbon aktif sering digunakan sebagai bahan tambahan dalam katoda baterai untuk meningkatkan kapasitas dan daya baterai. Karbon aktif secara umum telah digunakan sebagai bahan elektroda untuk kapasitor karena memiliki spesifik yang tinggi, ketahanan kimia serta konduktivitas yang baik (Tumimomor & Palilingan, 2018).

2.5.3 *Carbon black*

Carbon black adalah bahan yang sering digunakan sebagai komponen penting dalam katalis untuk baterai, khususnya baterai berbasis elektrokimia seperti baterai lithium-ion dan baterai udara karena memiliki konduktivitas listrik yang sangat baik. *Carbon black* digunakan dalam katoda untuk mendukung katalis logam transisi yang memfasilitasi reaksi reduksi oksigen (ORR). Ini membantu dalam mengoptimalkan kinerja dan efisiensi baterai.

Carbon black adalah bentuk komersial dari karbon padat yang diproduksi dalam proses yang sangat terkontrol untuk menghasilkan material granular karbon yang direkayasa secara khusus yang bervariasi dalam ukuran partikel, ukuran material granular, bentuk, porositas, dan kimia permukaan. Karbon hitam biasanya mengandung lebih dari 95% karbon murni dengan jumlah oksigen, hidrogen, dan nitrogen yang minimal. Dalam proses pembuatan, partikel karbon hitam dibentuk dengan ukuran mulai dari 10 nm hingga sekitar 500 nm (ORION Engineered Carbons, 2014).

2.5.4 *Binder/Perekat*

Binder atau perekat berfungsi untuk mengikat bahan aktif agar menempel pada *current collector*, memastikan struktur elektroda tetap kuat, dan menyediakan jalur untuk interkalasi dalam proses konduksi ion. Perekat polimer seperti PVDF (*Polivinilidena Fluorida*) atau EPDM (*Etilen Propilena Diena Monomer*) digunakan sebagai perekat dalam baterai lithium-ion karena mampu mengikat bahan aktif dan aditif konduktif seperti karbon hitam tanpa bereaksi dengan elektroda dan elektrolit. PVDF dan EPDM, sebagai polimer, tidak aktif secara elektrokimia. Namun, jika terlalu banyak aditif konduktif seperti karbon hitam dan

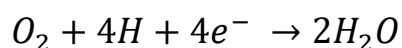
pengikat polimer ditambahkan pada bahan elektroda, hal ini dapat menurunkan kapasitas total sel. Sebaliknya, jika jumlahnya terlalu sedikit konduktivitas elektronik dan kekuatan rekat atau kekuatan mekanis elektroda akan berkurang (Lee, 2019).

2.6 Reaksi Reduksi Oksigen

Menurut (Li et al., 2019) reaksi reduksi oksigen (*Oxygen Reduction Reaction*, ORR) adalah proses elektrokimia yang penting dalam berbagai aplikasi energi, seperti sel bahan bakar dan baterai logam-udara. Reaksi ini terjadi ketika oksigen molekuler (O_2) menerima elektron dan proton, menghasilkan air (H_2O) atau hidroksida (OH^-), tergantung pada kondisi larutan elektrolit (asam atau basa).

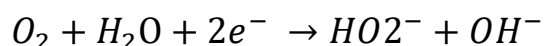
Secara umum, reaksi ORR dapat dijelaskan dengan dua mekanisme utama sebagai berikut:

1. Mekanisme empat elektron ($4e^-$)



Reaksi ini terjadi terutama di media asam dan menghasilkan air.

2. Mekanisme dua elektron ($2e^-$)



Mekanisme menghasilkan hydrogen peroksida dan dapat di reduksi lebih lanjut menjadi air.

Dalam konteks sel bahan bakar, jalur empat elektron lebih diinginkan karena menghasilkan lebih banyak energi dan tidak menghasilkan peroksida berbahaya. Kinetika reaksi ini cenderung lambat, sehingga dibutuhkan katalis seperti platinum (Pt) atau material berbasis karbon untuk mempercepat prosesnya.

2.7 Komponen Instrumen

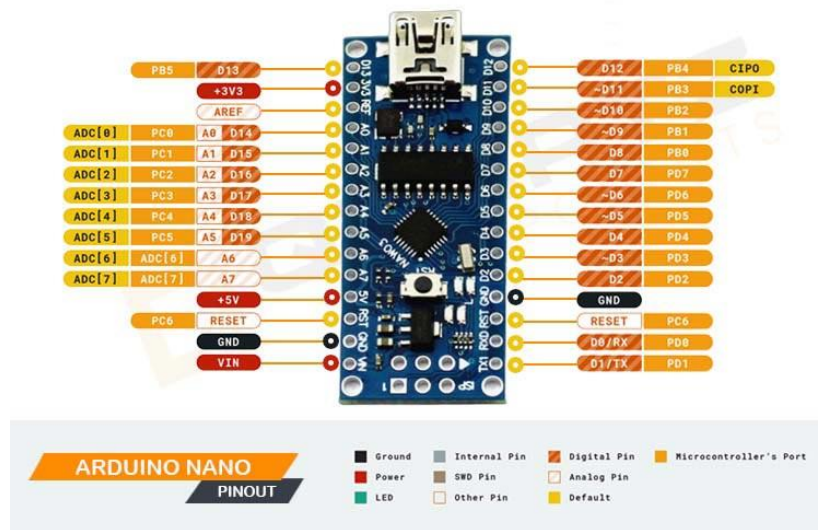
2.7.1 Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino Nano mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino Nano memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. (Muchtar & Hidayat, 2017)



Gambar 2.2 Arduino Nano

(Muchtar & Hidayat, 2017)



Gambar 2.3 Pinout Arduino Nano

(Microcontroller, 1972)

Parameter dan Spesifikasi Arduino Nano ditunjukkan pada tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Nano.

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Nano

Parameter	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATMega328
Tegangan Operasi	5v
Tegangan <i>Input</i>	7-12v
Pin Digital I/O	14 (6 pin output <i>PWM</i>)
Pin Analog <i>Input</i>	6 pin
Arus DC per pin I/O	40mA
Flash Memory	32Kb
SRAM	2Kb
EEPROM	1Kb
16 Clock Speed	16MHz

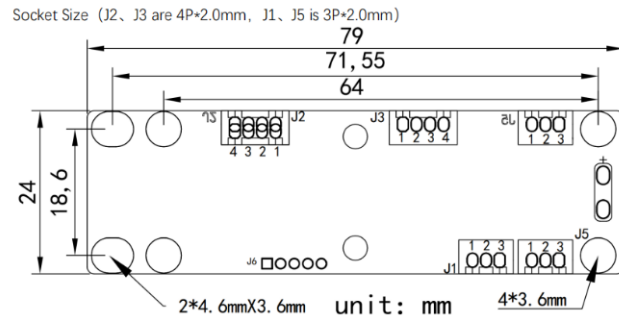
2.7.2 Sensor OCS-3F

Sensor OCS-3F adalah sensor oksigen ultrasonik yang digunakan untuk mengukur konsentrasi oksigen dan aliran dalam gas, sering kali dalam konteks generator oksigen. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip ultrasonik untuk mendeteksi konsentrasi dan laju aliran oksigen dengan akurasi tinggi. Sensor OCS-

3F menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur perubahan kecepatan suara dalam gas yang disebabkan oleh variasi konsentrasi oksigen.



(a) Sensor OCS-3F



(b) Skematik Sensor OCS-3F

Gambar 2.4 (a) Sensor OCS-3F (b) Skematik Sensor OCS-3F

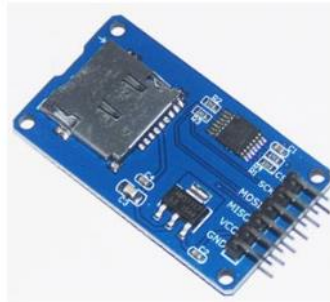
(winpower, n.d.)

Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor OCS-3F

Parameter	Spesifikasi
Rentang konsentrasi	21%-95.6%
Resolusi	0.1%
Akurasi	$\pm 1.5\%$ FS pada suhu (5 - 55) $^{\circ}\text{C}$
Rentang aliran	0-10 L/min
Resolusi aliran	0.1 L/min
Keluaran digital	9600 bps, UART 5V / 3.3V (TTL Level)
Suhu kerja	5-55 $^{\circ}\text{C}$
Kelembaban kerja	5-55 $^{\circ}\text{C}$

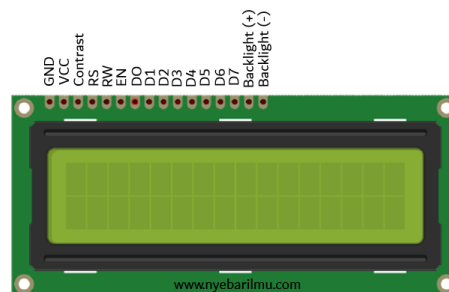
2.7.3 Data Logger Micro SD

Modul SD *card* adalah modul yang berfungsi untuk membaca dan menulis data ke dari SD *card*, memiliki *interfacing* menggunakan komunikasi SPI, serta memiliki level tegangan kerja 3.3v DC atau 5v DC.



Gambar 2.5 Data *Logger Micro SD*
(Ardutech, 2020)

2.7.4 LCD (*Liquid Crystal Display*)



Gambar 2.6 LCD (*Liquid Crystal Display*)
(Tutorial, 2017)

LCD (*Liquid Crystal Display*) suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan suatu data dapat berupa karakter, huruf, simbol maupun grafik. Karena ukurannya yang kecil maka LCD banyak dipasangkan dengan Mikrokontroler. LCD tersedia dalam bentuk modul yang mempunyai pin data, *control* catu daya, dan pengatur kontras.(Damayanti & Saptaji, 2024)

I2C / TWI modul LCD2004 adalah sebuah sistem peraga menggunakan LCD *dot matrix* 16X2 karakter berbasis IC Hitachi HD44780 dengan I2C serial bus kecepatan tinggi yang diproduksi oleh DFRobot. Sistem peraga LCD *dot marix* 16x2 karakter berbasis IC HD44780 dapat dihubungkan ke *board* Arduino hanya

menggunakan 2 (dua) buah kaki Analog A4 dan A5 selain sumber tegangan DC +5 volt. Kaki Analog A4 dan A5 dari Arduino dihubungkan ke kaki SDA dan kaki SCL dari serial *board*.

I2C merupakan komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yang di desain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya.

2.8 Hubungan Konsentrasi Oksigen dengan durasi Pengosongan Baterai (*Discharge*)

Hubungan antara konsentrasi oksigen dengan durasi pengosongan baterai aluminium oksigen (Al-O₂) berkaitan dengan reaksi elektrokimia yang terjadi di dalam baterai. Baterai aluminium oksigen menggunakan oksigen sebagai oksidator untuk bereaksi dengan aluminium pada anoda. Konsentrasi oksigen yang lebih tinggi dapat meningkatkan reaksi elektrokimia di katoda, mempercepat proses pengosongan baterai, tetapi juga meningkatkan output daya. Sebaliknya, ketika konsentrasi oksigen lebih rendah, reaksi elektrokimia menjadi lebih lambat, yang memperpanjang durasi pengosongan tetapi dengan daya keluaran yang lebih rendah. (Rani et al., 2024)

2.9 Pengujian Baterai

2.9.1 Charge Discharge

Pengujian *charge-discharge* bertujuan untuk mengetahui durasi pemakaian baterai. Perangkat yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Battery testing system* (BTS). Pada tahap pengisian (*charge*), baterai diisi hingga mencapai 100% dari kapasitas Ah terpasang, dengan arus yang semakin mendekati 0A. Di titik ini, pengisian

menjadi kurang efektif karena perubahan arus sangat kecil dan membutuhkan waktu lebih lama. Siklus *charge-discharge* biasanya dimulai dengan proses pengosongan (*discharge*) hingga kapasitas baterai mencapai batas bawah yang telah ditentukan. (Widjonarko, 2013)

2.10 Penelitian Terkait

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian terdahulu serta jurnal yang nasional maupun internasional. Oleh karena itu, berikut hasil penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai referensi guna menjadi rujukan atas penelitian ini.

Tabel 2.4 Jurnal Penelitian Terkait

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tempat, Tahun Penelitian	Hasil Pembahasan
1.	Alat Monitoring Konsentrasi Oksigen Dan Aliran Udara Pada Regulator Oksigen	Abdul Haris Kuspranoto, Muslihun, Zulzala Walikram	Politeknik Bina Trada Semarang, 2022	Penelitian ini membahas tentang alat monitoring konsentrasi oksigen dan laju aliran udara menggunakan sensor ocs-3f. Alat ini efektif dalam menjaga distribusi oksigen sesuai kebutuhan pasien, terutama untuk kondisi yang memerlukan pemantauan oksigen secara ketat.
2.	Meningkatkan Suplay Daya Baterai Alumunium Udara Menggunakan Bahan Konduktif Teroptimasi Campuran Silika Xerogel Dan TiO₂ Pada Katoda Udara	Linda Faridah, Euis Nur F	Universitas Siliwangi, 2022	Penelitian ini membahas tentang bagaimana meningkatkan daya baterai aluminium-udara dengan mengoptimasi katoda udara menggunakan campuran silika xerogel dan TiO ₂ . Hasil menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi silika xerogel dan TiO ₂ mampu meningkatkan suplai daya dan efisiensi, dengan penurunan resistansi dan peningkatan stabilitas operasional.