

BAB 1

ANALISIS KEBUTUHAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Baterai merupakan perangkat yang berfungsi untuk menyimpan energi kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik saat dibutuhkan. Berbagai jenis baterai tersedia, yang berbeda dalam hal ukuran, kapasitas, bahan, dan desain, sesuai dengan aplikasinya. Salah satu jenis baterai yang sedang dikembangkan adalah baterai udara. Baterai udara memanfaatkan udara sebagai sumber oksigen untuk reaksi pada katoda[1]. Keunggulan utama dari baterai udara adalah energi spesifiknya yang lebih tinggi dibandingkan baterai konvensional, karena tidak perlu menyimpan oksigen di dalam baterai. Selain itu, baterai udara dianggap menjanjikan karena tidak menghasilkan limbah berbahaya dan dapat didaur ulang. Contoh baterai udara termasuk baterai lithium-udara, baterai aluminium-udara, dan baterai silikon-udara.

Namun, baterai udara juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satu masalah utama adalah daya keluaran cenderung kecil. Daya keluaran baterai dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk resistansi internal baterai, suhu operasi, kondisi lingkungan, dan metode pengisian baterai. Baterai udara memiliki resistansi internal yang lebih tinggi dibandingkan baterai konvensional, karena adanya proses difusi oksigen dari udara ke elektrolit. Selain itu, baterai udara juga rentan terhadap perubahan suhu dan kelembaban udara, yang dapat mempengaruhi kinerja baterai. Setiap jenis baterai logam-udara memiliki energi spesifik yang berbeda, sehingga pemilihan logam harus disesuaikan dengan kebutuhan baterai.

Di antara berbagai baterai logam-udara, baterai aluminium-udara memiliki energi spesifik yang tinggi, yaitu sekitar 1300-2000 Wh/kg. Ini jauh lebih besar dibandingkan dengan baterai lithium-ion (100-265 Wh/kg) atau baterai nikel-kadmium (40-60 Wh/kg). Dengan kata lain, baterai aluminium-udara dapat menyimpan lebih banyak energi dengan berat yang lebih ringan.

Salah satu penelitian menunjukkan bahwa baterai aluminium-udara yang menggunakan NaCl sebagai larutan elektrolit dapat menghasilkan tegangan sebesar 0,7 V hingga 0,8 V. Dengan menggunakan 4 sel baterai, rangkaian ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 2,8 V, dan saat diberi beban LED, tegangan mengalami penurunan hingga 1,7 V[2]. Kelemahan pada penelitian ini adalah penurunan tegangan yang signifikan ketika diberi beban, yang

menunjukkan kurangnya efisiensi secara keseluruhan. Penelitian lain menunjukkan bahwa baterai aluminium-udara yang menggunakan larutan yang telah ter-elektrolisis dapat menghasilkan tegangan antara 0,7 V hingga 1 V. Dengan menggunakan 12 sel baterai, tegangan yang dihasilkan mencapai 8,5 V[3]. Kelemahan dari penelitian ini adalah jumlah sel yang diperlukan lebih banyak, yang membuat sistem lebih kompleks dan besar, sehingga kurang ideal untuk aplikasi skala kecil atau portabel. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa baterai aluminium yang menggunakan elektrolit jenis air laut dapat menghasilkan tegangan antara 0,6 V hingga 0,9 V per sel. Dengan 10 sel, baterai ini dapat menghasilkan tegangan sebesar 7,8 V[4]. Kelemahan dari penggunaan air laut sebagai elektrolit adalah efisiensi yang lebih rendah dibandingkan elektrolit lain seperti KOH atau NaCl, serta kestabilan jangka panjang yang kurang, terutama dalam menghadapi degradasi selama siklus penggunaan yang panjang.

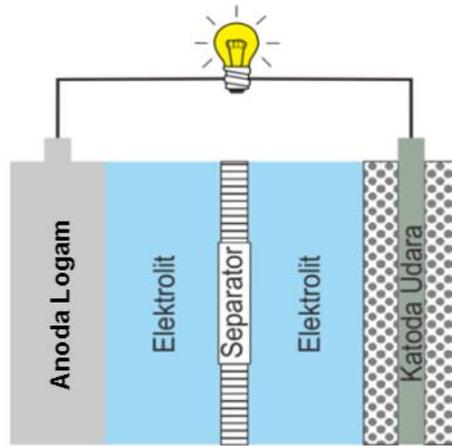
Salah satu aplikasi potensial dari baterai udara adalah untuk memenuhi kebutuhan penerangan di daerah tertinggal. Banyak daerah tertinggal yang masih mengalami kesulitan dalam memperoleh pasokan yang listrik memadai dan terjangkau, terutama di daerah terpencil dan terisolasi. Baterai udara dapat menjadi solusi alternatif untuk menyediakan sumber energi listrik yang ramah lingkungan, dan mudah digunakan di daerah tersebut. Baterai udara dapat digunakan untuk menyalakan lampu LED, yang memiliki konsumsi energi rendah dan umur pakai yang lama. Dengan demikian, baterai udara dapat memberikan manfaat sosial, ekonomi, dan lingkungan bagi masyarakat di daerah tertinggal.

Untuk itu, diperlukan pengembangan baterai udara yang memiliki tegangan dan daya keluaran yang tinggi dari penelitian sebelumnya, agar dapat digunakan sebagai sumber pencatu lampu penerangan jalan umum di daerah tertinggal.

1.2 Informasi Pendukung

A. Pengertian Baterai Udara

Baterai aluminium udara adalah jenis baterai yang memanfaatkan reaksi reduksi dan oksidasi antara udara dan pelat logam khusus untuk menghasilkan energi listrik. Baterai ini menggunakan larutan elektrolit sebagai penghantar ion-ion dari katoda udara ke anoda logam. Ion-ion ini yang nantinya akan digunakan sebagai sumber listrik atau mencatu komponen akses penerangan jalan di daerah tertinggal tersebut. Baterai ini bersifat primer yang berarti tidak dapat diisi ulang muatan listrik kembali (*un-rechargeable*).



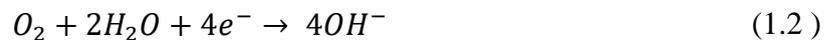
Gambar 1. 1 Struktur Baterai Aluminium-udara

Untuk persamaan reaksinya dapat dituliskan sebagai berikut:

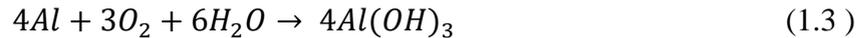
Reaksi pada anoda (1. 1) :



Reaksi pada katoda (1. 2):



Secara keseluruhan reaksi dapat dituliskan (1. 3) :



Untuk mengetahui nilai tegangan potensial dari sel baterai aluminium udara, dapat dihitung dengan nilai standar reduksi potensial dari masing-masing katoda dan anoda berdasarkan reaksi redoksnya[5].

- Anoda (Aluminium):

Nilai standar reduksi potensial untuk anoda adalah:

$$E_{Anoda} = E_{Al^{3+}/Al} = -1,66 V \quad (1.4)$$

Aluminium memiliki nilai potensial reduksi yang sangat negatif karena kecenderungannya untuk kehilangan elektron dan berubah menjadi ion Al^{3+} . Aluminium memiliki konfigurasi elektron $[Ne] 3s^2 3p^1$, dan karena berada di golongan IIIA, ia cenderung melepaskan tiga elektron untuk mencapai konfigurasi yang lebih stabil (elektron valensi penuh). Karena kecenderungan untuk melepaskan elektron ini sangat kuat, nilai reduksi potensialnya rendah (negatif), yaitu -1,66 V, yang menunjukkan bahwa aluminium adalah reduktor kuat dalam konteks reaksi elektrokimia.

Proses ini juga dipengaruhi oleh fakta bahwa aluminium membentuk lapisan pasivasi (aluminium oksida) di permukaan ketika terpapar udara atau air, yang menghambat laju reaksi lebih lanjut. Namun, dalam baterai aluminium-udara, adanya larutan elektrolit seperti KOH membantu mengatasi lapisan oksida ini sehingga aluminium dapat berfungsi sebagai anoda yang efektif.

- Katoda (Oksigen):

Nilai standar reduksi potensial untuk katoda adalah:

$$E_{Katoda} = E_{O_2/oh} = +0,40 V \quad (1.5)$$

Potensial reduksi standar oksigen dalam air ($O_2 + 4e^- \rightarrow 2OH^-$) adalah +0,40 V, yang artinya oksigen cenderung menerima elektron (melalui proses reduksi) dengan lebih mudah daripada banyak zat lain. Oksigen dalam air mengalami reduksi menjadi ion hidroksida (OH^-) di katoda. Proses ini melibatkan penurunan energi dari molekul oksigen yang stabil di udara ke ion OH^- yang stabil di larutan berair.

Nilai potensial reduksi +0,40 V mencerminkan kekuatan oksigen sebagai oksidator. Oksigen bersifat sangat elektronegatif, yang berarti memiliki kecenderungan tinggi untuk menarik elektron, sehingga nilai potensial reduksinya positif. Hal ini memungkinkan oksigen menjadi pasangan yang baik bagi aluminium dalam reaksi redoks di baterai aluminium-udara.

Maka nilai tegangan potensial sel adalah :

$$\begin{aligned} E_{sel} &= E_{Katoda} - E_{Anoda} \\ E_{sel} &= +0,40 V - (-1,66) V \\ E_{sel} &= +2,06 V \end{aligned} \quad (1.6)$$

Tegangan teoritis yang dihasilkan oleh baterai aluminium-udara dari reaksi ini adalah sekitar 2,06 V, yang merupakan nilai tertinggi yang dapat dicapai dalam kondisi ideal dengan konsentrasi dan temperatur standar. Namun, dalam kenyataannya, tegangan yang dihasilkan mungkin lebih rendah karena berbagai faktor, termasuk resistansi internal, konsentrasi elektrolit, dan efisiensi katalisator[6].

B. Densitas Baterai Udara

Tabel 1. 1 Perbandingan Nilai Densitas Dan Tegangan Keluaran Berdasarkan Jenis Logam

Jenis Logam Baterai Udara	Densitas Energi Spesifik	Tegangan Keluaran (V)
Calcium–air	4180	3,12
Zinc–ai	1350	1,65
Aluminium–air	8140	1,20
Iron–air	2044	1, 30

Densitas energi spesifik, yaitu ukuran energi yang dihasilkan per satuan berat baterai yang dinyatakan dengan Wh kg^{-1} . Nilai ini dapat mempengaruhi seberapa banyak energi yang dapat disimpan dalam baterai dan seberapa cepat energi tersebut dapat dikeluarkan. Densitas energi spesifik baterai logam-udara bergantung pada jenis logam, jumlah elektron yang dipertukarkan, berat molekul logam dan beda potensial elektroda. Semakin tinggi densitas energi spesifik, semakin besar potensi baterai untuk menyimpan dan menghasilkan energi. Berdasarkan tabel 1.1, untuk nilai densitas energi spesifik aluminium cukup besar yaitu 8140 Wh kg^{-1} dengan tegangan yang dihasil dapat mencapai $1,2\text{V}$ [1]

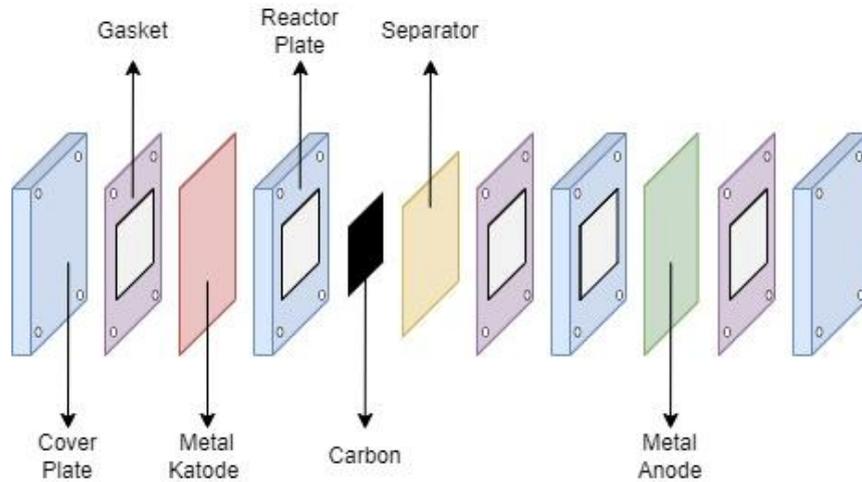
C. Pengaruh Larutan Elektrolit Baterai Aluminium Udara

Tabel 1. 2 Pengaruh Kadar Air di dalam Larutan Elektrolit

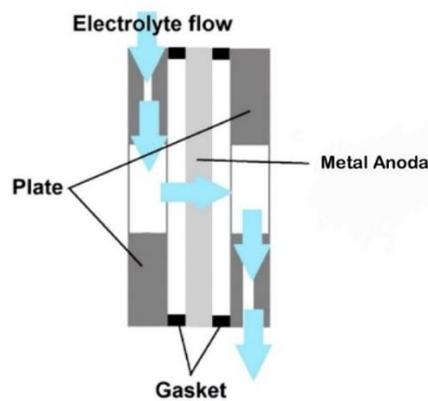
Kadar Air Dalam Larutan (%)	Tegangan Keluaran	Waktu Pengosongan
0	0,77	~40
5	0,98	~28
10	1,02	~18
20	1,10	~7

Dari penelitian yang telah dilakukan, besarnya tegangan yang dihasilkan oleh baterai aluminium berbanding lurus dengan banyak air dalam larutan elektrolit tersebut. Namun berbanding terbalik dengan waktu pengosongan baterai tersebut. Contohnya larutan elektrolit yang memiliki kandungan air sebanyak 5% dapat menghasilkan tegangan sebesar $0,98\text{V}$ dan waktu pengosongan sampai dengan 28 jam. Sementara larutan elektrolit yang memiliki kandungan air sebesar 20% dapat menghasilkan tegangan sebesar $1,10 \text{ V}$ dan waktu pengosongan yang lebih cepat yaitu hingga 7 jam[7].

D. Struktur Baterai Udara



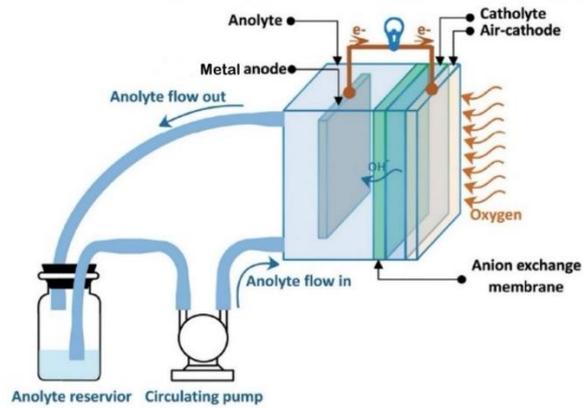
Gambar 1. 2 Struktur Dual-Electrolyte Air Battery



Gambar 1. 3 Sistem Two Reactor Plate

Dual-electrolyte air battery (Gambar 1. 2) merupakan desain dari sel baterai udara yang cukup banyak digunakan karena memiliki struktur/susunan yang sederhana dan dapat diaplikasikan untuk berbagai jenis logam. Selain itu bentuk baterai ini dapat divariasikan dengan menggunakan sistem *two reactor plate* (Gambar 1. 3). Sistem ini membantu untuk elektron berpindah dari katoda menuju anoda baterai aluminium udara, sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi[8].

E. Sistem Sirkulasi Larutan Elektrolit Pada Baterai Udara



Gambar 1. 4 Skematik Sirkulasi Baterai Aluminium Udara

Gambar 1.4 merupakan alur perpindahan pada larutan elektrolit. Dimulai dari tempat penyimpanan larutan lalu akan diteruskan oleh pompa dan akan dimasukkan ke dalam baterai aluminium udara dan ketika larutan sudah selesai bereaksi maka akan diganti dengan larutan yang baru dengan cara dikeluarkan oleh pompa sekaligus memasukan larutan yang baru. Sistem sirkulasi ini akan memudahkan proses pergantian larutan elektrolit tanpa perlu dilakukan secara satu-satu khususnya jika sel baterai aluminium udara yang digunakan lebih dari 1.

F. Karbon Grafit sebagai Katalisator



Gambar 1. 5 Karbon Grafit

Baterai aluminium udara yang memanfaatkan karbon grafit sebagai katalis telah terbukti dapat meningkatkan kinerja baterai secara signifikan. Grafit berbasis karbon memiliki potensi katalitik yang signifikan dalam meningkatkan kinerja baterai logam-udara melalui mekanisme pengurangan oksigen[9]. Selain katalis berbasis karbon, grafit memiliki peran dalam meningkatkan efisiensi dan daya tahan baterai aluminium-udara[10].

Selain itu, ada beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan pembuatan baterai aluminium udara yang dapat dilihat dari tabel di bawah ini. Tabel 1.1 merupakan penelitian terkait yang bisa dijadikan referensi pengembangan baterai aluminium udara ini.

Tabel 1. 3 Referensi Penelitian Sebelumnya

No	Judul	Keterangan	Hasil	Referensi
1.	Studi Elektrokimia Baterai Aluminium-Udara Dengan Silika Xerogel Sebagai Bahan Elektroda	Menggunakan campuran silika xerogel, grafit, dan karbon hitam	Kapasitas teoritis dan rapat energi baterai naik berdasarkan kenaikan temperatur pembakaran silika berturut-turut dari 104,52 mAh/g sampai 140,9 mAh/g dan 57,57 mWh/g sampai 65,25 mWh/g. Titik cut off/drop tegangan pada 1,7V dan 0,4mA	[2]
2.	Rancang Bangun Sistem Pelacakan Panel Surya Dual-Axis untuk Elektrolisis Pembuatan Elektrolit Baterai	Alat ini menggunakan modul surya untuk melakukan elektrolisis air, memisahkan hidrogen dan oksigen. Hidrogen disimpan dalam baterai aluminium sebagai sumber energi yang dapat diakses saat diperlukan, memungkinkan penggunaan hidrogen sebagai opsi energi ramah lingkungan.	Gas hidrogen yang disimpan dalam 12 baterai aluminium dapat menghasilkan energi listrik sekitar 8,5 volt. Energi listrik ini dapat digunakan untuk menyalakan peralatan-peralatan elektronik yang membutuhkan tegangan rendah.	[3]
3.	Pembangkitan Energi Listrik Pada Baterai Udara Dengan Bahan Karbon Aktif Dan Elektrolit Air Laut	Menggunakan aluminium foil sebagai anoda. Larutan elektrolit yang digunakan berupa air laut	Dapat menghasilkan tegangan sebesar 0,6 V-0,9 V. Menggunakan 10 sel baterai dengan tegangan total sebesar 7,8 V.	[4]

1.3 Constraint

Dalam perancangan produk dilakukan beberapa analisis, antara lain:

No	Aspek	Penjelasan terkait aspek
1	Ekonomi	Produk ini dirancang untuk menghasilkan listrik secara mandiri, terutama di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Tujuan utamanya adalah untuk mendukung penerangan jalan, sehingga masyarakat di daerah tersebut dapat memiliki akses penerangan jalan yang baik. Dengan menggunakan produk ini, biaya yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik dapat ditekan. Hal ini karena produk ini juga dapat menggunakan bahan-bahan bekas yang dapat ditemukan dilingkungan sekitar. Dan dalam pemilihan komponen dan material bahan ini dipilih dengan melihat kualitas, ketersediaan di pasaran dan harga yang terjangkau agar biaya dari pembuatan alat ini dapat terjangkau namun tidak mengurangi kualitas dari produk ini sendiri.
2	Manufakturabilitas	Produk ini dirancang dengan tujuan untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri, sehingga dapat berfungsi secara optimal dalam menerangi akses jalan. Desain dan material dari komponen dan bahan yang ada di produk ini dibuat dengan mempertimbangkan ketersediaan, harga yang ada di pasaran dan kemudahan dalam pengoperasian sistem. Dengan demikian, produk ini tidak hanya efisien dalam penggunaan energi, tetapi juga praktis dan ekonomis bagi masyarakat di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T).

3	Keberlanjutan	Produk ini dirancang dengan sistem yang mudah dioperasikan, sehingga memungkinkan penduduk setempat untuk menggunakannya. Dengan demikian, produk ini tidak hanya memberikan solusi penerangan jalan yang efektif, tetapi juga memberdayakan masyarakat lokal dengan memberi mereka kemampuan untuk mengelola dan memelihara sistem penerangan mereka sendiri. Ini adalah langkah maju yang signifikan dalam meningkatkan kualitas hidup di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T).
---	---------------	--

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan dari kebutuhan yang telah dijelaskan diatas dapat disimpulkan antara lain:

- 1) Baterai udara dapat mencatu lampu.
- 2) Sel Baterai udara dapat menghasilkan tegangan.
- 3) Baterai udara dapat menghasilkan listrik untuk waktu yang lama.
- 4) Sistem dapat menampilkan informasi terkait keluaran baterai.

1.5 Tujuan

Penelitian *Capstone Design* ini memiliki tujuan membantu dalam menghasilkan energi listrik yang dapat mencatu komponen penerangan jalan di daerah tertinggal sehingga membantu penduduk dengan merancang sistem baterai aluminium udara yang dapat menghasilkan energi listrik secara mandiri dengan bantuan energi pendukung yang berasal dari energi surya serta menampilkan informasi dari baterai udara aluminium itu sendiri.