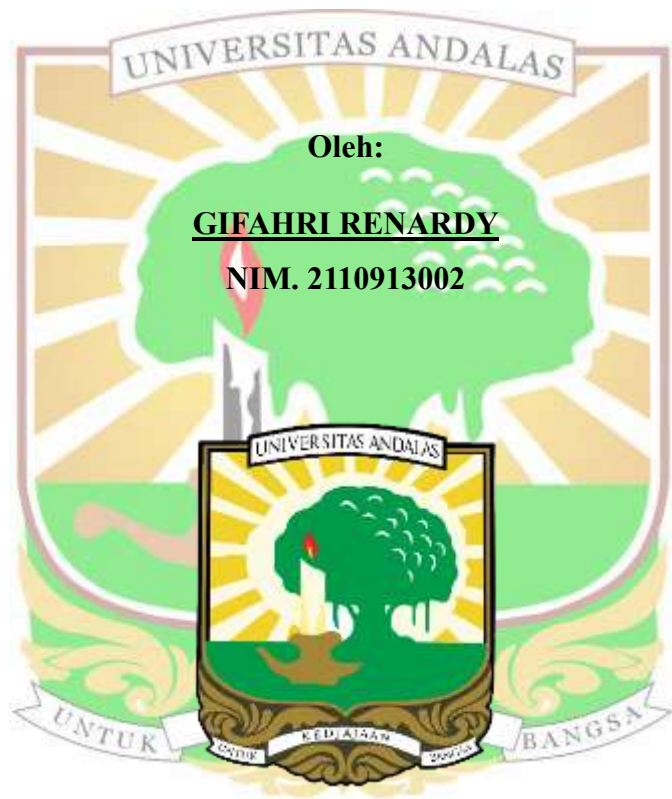


TUGAS AKHIR

PENGARUH KOMPOSISI *CARBON NANOTUBE* PADA KONDUKTIFITAS DAN KAPASITAS NANOSTRUKTUR MEMBRAN BATERAI ALUMINIUM-UDARA



Oleh:

GIFAHRI RENARDY

NIM. 2110913002

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS**

2026

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern yang ditandai dengan pertumbuhan pesat teknologi portabel, kendaraan listrik (*electric vehicle*/EV), dan energi terbarukan, kebutuhan akan sistem penyimpanan energi yang efisien, andal, dan berkelanjutan menjadi semakin mendesak, karena sistem ini tidak hanya berperan dalam menjaga kestabilan pasokan daya tetapi juga menjadi komponen kunci dalam mendukung transisi menuju teknologi yang lebih bersih dan hemat energi, khususnya pada kendaraan listrik yang memerlukan sumber energi dengan kepadatan tinggi dan tingkat keamanan yang baik. Salah satu teknologi penyimpanan energi yang saat ini mendominasi pasar adalah baterai lithium-ion, karena memiliki kepadatan energi tinggi (sekitar 100–250 Wh/kg), masa pakai panjang, dan efisiensi konversi energi yang baik. Namun, baterai litium-ion tidak lepas dari berbagai tantangan, seperti tingginya biaya produksi, keterbatasan pasokan logam lithium, serta isu keselamatan terkait risiko kebakaran dan ledakan akibat reaksi elektrokimia yang tidak stabil [1]. Dalam menjawab tantangan tersebut, baterai aluminium–udara (Al–air) muncul sebagai salah satu alternatif yang menjanjikan.

Baterai aluminium-udara (*Al-air battery*) menunjukkan potensi besar karena memiliki energi spesifik yang sangat tinggi ($\sim 8,1$ kWh/kg), berat yang ringan, dan menggunakan aluminium sebagai material anoda yang melimpah dan murah [2]. Dalam proses kerjanya, aluminium mengalami reaksi oksidasi yang melepaskan elektron, sementara oksigen mengalami reaksi reduksi yang menghasilkan ion hidroksida (OH^-) [3]. Ion-ion ini bergerak melalui elektrolit atau membran elektrolit, yang menjadi media penting dalam menjembatani reaksi kimia di kedua elektroda. Membran elektrolit pada baterai aluminium–udara berperan penting sebagai separator antara anoda dan katoda untuk mencegah hubungan pendek, sekaligus sebagai penghantar ion yang mendukung efisiensi reaksi elektrokimia. Selain itu, membran juga mengatur difusi oksigen dari udara ke katoda agar tidak mengganggu kestabilan reaksi dalam sel baterai. Keberadaan elektrolit sangat

menentukan efisiensi dan stabilitas sistem, karena pergerakan ion di dalamnya berperan langsung dalam proses pembangkitan arus listrik [1]. Dalam pengembangan baterai aluminium–udara, elektrolit cair berbasis larutan basa seperti KOH atau NaOH merupakan pilihan konvensional yang umum digunakan karena memiliki konduktivitas ionik yang tinggi, yaitu dalam kisaran 0,1 hingga 0.7 S/cm [4]. Konduktivitas yang baik ini memungkinkan pergerakan ion OH^- secara cepat antar elektroda, sehingga mendukung reaksi redoks yang terjadi antara anoda aluminium dan katoda oksigen secara efisien. Namun, meskipun elektrolit cair menawarkan performa elektrokimia yang tinggi, penggunaannya juga menimbulkan berbagai tantangan serius, terutama terkait keamanan dan kestabilan sistem.

Elektrolit cair memiliki risiko kebocoran yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan korosi pada komponen internal dan kerusakan pada perangkat sekitarnya. Selain itu, sifatnya yang korosif dan mudah menguap membuat baterai lebih sulit untuk diterapkan pada sistem portabel, fleksibel, atau perangkat yang menuntut desain kompak dan tertutup [5]. Penguapan elektrolit juga berpotensi menurunkan konsentrasi ionik, yang pada akhirnya mengurangi kinerja baterai selama pemakaian jangka panjang. Untuk menjawab tantangan ini, banyak upaya penelitian mengalihkan fokus pada penggunaan elektrolit padat atau semi-padat (gel). Elektrolit jenis ini menawarkan keunggulan dalam aspek keamanan dan stabilitas: tidak mudah bocor, tidak menguap, mudah disegel dalam sel tertutup, dan lebih kompatibel dengan desain baterai modern yang miniatur dan fleksibel. Meski demikian, salah satu hambatan utama yang masih harus diatasi adalah konduktivitas ionik yang lebih rendah pada sistem padat, umumnya berada di rentang 10^{-5} hingga 10^{-3} S/cm [6], jauh di bawah elektrolit cair. Konduktivitas ionik yang rendah ini memperlambat transportasi ion selama operasi baterai. Kondisi konduktivitas rendah menyebabkan peningkatan resistansi internal, penurunan efisiensi *charge/discharge*, serta mempercepat degradasi kapasitas selama siklus [7]. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi struktural dan formulasi material agar elektrolit padat dapat mencapai konduktivitas ionik tinggi yang mendekati elektrolit cair, sehingga tidak hanya mempertahankan keuntungan dalam hal keamanan dan

desain, tetapi juga memungkinkan sistem baterai aluminium–udara dikembangkan sebagai baterai yang benar-benar dapat diisi ulang secara andal.

Untuk memperbaiki konduktivitas ionik pada elektrolit padat, berbagai studi telah menunjukkan bahwa penambahan *carbon nanotube* (CNT) sebagai *filler* efektif memperbaiki jalur perpindahan ion. CNT memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat tinggi, kekuatan mekanik luar biasa (~ 1 TPa), dan struktur nanoskala yang memungkinkan peningkatan konduktivitas ionik dalam matriks polimer [8][9]. Studi terdahulu menunjukkan bahwa penambahan CNT ke dalam matriks polimer mampu mengurangi ukuran kristalit dengan mengganggu susunan teratur rantai polimer, sehingga menurunkan kristalinitas dan mendorong pembentukan lebih banyak daerah amorf [10]. Ion bergerak lebih mudah di daerah amorf matriks polimer, karena berkurangnya keteraturan struktural memberikan fleksibilitas rantai yang lebih tinggi dan volume bebas yang lebih besar, sehingga memungkinkan peningkatan mobilitas ion.

Dalam penelitian ini, dikembangkan membran elektrolit padat yang dimodifikasi dengan penambahan CNT sebagai bahan fungsional utama. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh komposisi CNT terhadap karakteristik dari membran elektrolit padat, serta dampaknya terhadap performa baterai aluminium–udara secara keseluruhan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam pengembangan material membrane elektrolit yang unggul, serta mendukung inovasi dalam teknologi penyimpanan energi berbasis baterai aluminium udara. *Carbon nanotube* (CNT) dipilih sebagai bahan pengisi (*filler*) karena kemampuannya dalam meningkatkan konduktivitas ionik, memperbesar fraksi amorf, serta membentuk jalur transport ion yang efisien dalam matriks polimer. Variasi komposisi CNT dari 0 hingga 0,05 g dilakukan secara sistematis untuk mengevaluasi hubungan struktur–sifat serta menentukan komposisi optimum, mengingat sistem berbasis CNT umumnya menunjukkan perilaku non-linear akibat efek perkolasi dan aglomerasi.

1.2 Rumusan Masalah

Carbon Nanotube (CNT) dikenal memiliki konduktivitas ionik dan mekanik yang tinggi, sehingga berpotensi menjadi filler nano untuk meningkatkan performa membran elektrolit padat dalam baterai aluminium–udara. Sementara itu, elektrolit

padat seperti yang berbasis *Polyvinyl alcohol* (PVA) memiliki kekurangan berupa konduktivitas ionik yang relatif rendah, yang menjadi hambatan dalam pengembangan baterai aluminium-udara. Namun, hingga saat ini belum banyak penelitian yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi CNT terhadap konduktivitas ionik dan kinerja membran elektrolit padat dalam sistem PVA/HCl/TEOS. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi CNT terhadap sifat elektrokimia membran dan potensi peningkatannya dalam sistem baterai aluminium-udara?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui pengaruh komposisi CNT dalam membran elektrolit terhadap konduktivitas ionik dan kapasitas baterai aluminium-udara.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini menghasilkan elektrolit padat dengan variasi CNT yang meningkatkan transfer ion, konduktivitas, kapasitas, efisiensi reaksi redoks, serta menurunkan impedansi, sehingga secara langsung berkontribusi pada peningkatan performa baterai.

1.5 Batasan Masalah

1. Pengujian dan analisis yang dilakukan hanya ditujukan pada membran elektrolit dengan pengaruh CNT.
2. Pencampuran komponen ketika pembuatan elektrolit dan separator dianggap homogen.
3. Penelitian diterapkan pada baterai aluminium udara dengan anoda berbahan aluminium dan katoda berbahan karbon.

1.6 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan dalam laporan ini sebagai berikut:

BAB I Bab ini mencakup latar belakang, tujuan, manfaat, ruang lingkup penelitian, dan struktur laporan.

BAB II Bab ini memaparkan landasan teoritis sebagai dasar penulisan laporan.

BAB III Bab ini menjelaskan mengenai prosedur pembuatan dan pengujian pada penelitian ini.

BAB IV Bab ini memaparkan hasil dan pembahasan berdasarkan analisis data dari pengujian.

BAB V Bab ini mencakup kesimpulan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

