

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baterai aluminium–udara merupakan salah satu teknologi penyimpanan energi alternatif. Baterai ini menggunakan aluminium sebagai anoda dan oksigen dari udara sebagai material aktif pada katoda. Kombinasi tersebut memberikan kepadatan energi teoritis tinggi sehingga baterai aluminium–udara berpotensi sebagai sistem penyimpanan energi berkelanjutan [1]. Berbeda dengan baterai konvensional, baterai aluminium–udara hanya menyimpan aluminium sebagai sumber energi internal serta oksigen dari lingkungan baterai. Aluminium juga tersedia dalam jumlah melimpah, massa jenis rendah, biaya relatif murah, serta mudah didaur ulang sehingga baterai aluminium–udara berpotensi sebagai sistem penyimpanan energi berkelanjutan untuk aplikasi jangka panjang [2]. Terlepas dari keunggulan tersebut, optimalisasi kinerja baterai aluminium–udara masih menghadapi berbagai tantangan. Tantangan tersebut meliputi stabilitas elektrokimia dan efisiensi pemanfaatan anoda aluminium [3].

Baterai aluminium–udara menghasilkan energi listrik melalui reaksi oksidasi aluminium pada anoda dan reaksi reduksi oksigen pada katoda [4]. Selama proses *discharge*, anoda aluminium mengalami reaksi elektrokimia utama serta korosi sebagai reaksi samping. Fenomena tersebut menyebabkan konsumsi aluminium berlangsung tidak efektif sehingga menurunkan efisiensi anoda [5]. Wu et al. (2021) melaporkan bahwa korosi menjadi salah satu faktor pembatas kinerja baterai aluminium–udara [6]. Goel et al. (2023) menunjukkan kondisi permukaan anoda dan karakteristik antarmuka anoda–elektrolit memengaruhi distribusi reaksi elektrokimia serta laju degradasi aluminium [7]. Dari penelitian tersebut, pengendalian korosi pada permukaan anoda menjadi salah satu tantangan dalam pengembangan baterai aluminium–udara.

Salah satu pendekatan untuk mengendalikan laju korosi pada anoda aluminium adalah rekayasa struktur dan antarmuka permukaan. Anodisasi menghasilkan lapisan *anodic aluminum oxide* (AAO) berstruktur nanopori dengan

luas permukaan spesifik tinggi, distribusi pori seragam, serta adhesi kuat terhadap substrat aluminium [8]. Terlepas dari berbagai keunggulannya, AAO belum berfungsi sebagai lapisan fungsional akhir sehingga masih memerlukan modifikasi permukaan. Sitanggang et al. (2025) melaporkan struktur nanopori hasil anodisasi meningkatkan jumlah material terdepositasi akibat bertambahnya luas permukaan efektif dibandingkan aluminium tanpa anodisasi [9]. Oleh karena itu, pengembangan lapisan fungsional pada permukaan AAO menjadi langkah penting untuk memanfaatkan struktur nanopori sebagai media deposisi sekaligus meningkatkan perlindungan anoda terhadap korosi.

Carbon quantum dots (CQDs) menjadi salah satu material fungsional untuk modifikasi permukaan AAO. Kombinasi luas permukaan tinggi, konduktivitas baik, dan gugus fungsi permukaan mendukung peningkatan interaksi antara anoda dan elektrolit [10]. CQDs dilaporkan mampu meningkatkan ketahanan korosi pada sistem pelapis. Khatoon et al. (2019) melaporkan penambahan CQDs ke dalam pelapis nanokomposit CQD@PCz/PU (*carbon quantum dots encapsulated polycarbazole/polyurethane*) pada substrat baja karbon mampu menurunkan laju korosi dari $4,80 \times 10^{-3}$ mmpy pada baja karbon tanpa pelapis menjadi $3,73 \times 10^{-9}$ mmpy [11]. Peningkatan ketahanan korosi disebabkan pada kemampuan CQDs dalam meningkatkan sifat penghalang (*barrier property*), memperkuat adhesi lapisan, serta menghambat difusi ion korosif menuju permukaan logam [12].

Oleh karena itu, integrasi AAO dan CQDs diharapkan memberikan efek sinergis dalam meningkatkan kinerja anoda aluminium. AAO menyediakan struktur nanopori sebagai media deposisi sehingga CQDs dapat terdistribusi lebih merata, sedangkan CQDs berperan sebagai lapisan fungsional untuk meningkatkan kestabilan antarmuka sekaligus mengendalikan korosi pada baterai aluminium–udara berbasis *solid-state*. Meskipun efektivitas CQDs sebagai material antikoroisi banyak dilaporkan pada sistem pelapis berbasis polimer, pemanfaatan CQDs sebagai lapisan fungsional pada anoda aluminium berstruktur AAO dalam baterai aluminium–udara berbasis *solid-state* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan integrasi AAO dan CQDs guna merekayasa antarmuka anoda aluminium sehingga ketahanan korosi dan kestabilan elektrokimia dapat ditingkatkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana Pengaruh Modifikasi Permukaan Anoda Aluminium Berpori Nano Melalui Pembentukan *Anodic Aluminum Oxide* (AAO) Dan Pelapisan *Carbon Quantum Dots* (CQDs) Terhadap Perilaku Korosi Pada Baterai Aluminium–Udara Berbasis Elektrolit *Solid-State* ?
2. Bagaimana Pengaruh Modifikasi Permukaan Anoda Aluminium Berpori Nano Melalui Pembentukan *Anodic Aluminum Oxide* (AAO) Dan Pelapisan *Carbon Quantum Dots* (CQDs) Terhadap Performa Elektrokimia Pada Baterai Aluminium–Udara Berbasis Elektrolit *Solid-State* ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menghasilkan Karakteristik Pengaruh Modifikasi Permukaan Anoda Aluminium Berpori Nano Melalui Pembentukan *Anodic Aluminum Oxide* (AAO) Dan Pelapisan *Carbon Quantum Dots* (CQDs) Terhadap Perilaku Korosi Pada Baterai Aluminium–Udara Berbasis Elektrolit *Solid-State*.
2. Menghasilkan Karakteristik Pengaruh Modifikasi Permukaan Anoda Aluminium Berpori Nano Melalui Pembentukan *Anodic Aluminum Oxide* (AAO) Dan Pelapisan *Carbon Quantum Dots* (CQDs) Terhadap Performa Elektrokimia Pada Baterai Aluminium–Udara Berbasis Elektrolit *Solid-State*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam menekan laju korosi anoda aluminium melalui modifikasi permukaan anoda berbasis AAO dan CQDs sehingga meningkatkan kestabilan elektrokimia serta memperpanjang umur pakai baterai aluminium–udara berbasis elektrolit *solid-state*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh rekayasa permukaan anoda aluminium berpori nano dibentuk melalui proses *anodic aluminium oxide* (AAO) dan pelapisan *carbon quantum dots* (CQDs), tanpa membahas

modifikasi komposisi kimia aluminium atau penggunaan paduan aluminium lainnya.

2. Penelitian ini difokuskan pada evaluasi pengaruh modifikasi permukaan anoda terhadap karakteristik elektrokimia anoda aluminium, tanpa mencakup analisis ketebalan lapisan *anodic aluminum oxide* (AAO) maupun *carbon quantum dots* (CQDs).
3. Sistem baterai aluminium–udara menggunakan elektrolit berbasis polimer (*solid-state*), dengan material komposit PVA/HCL/TEOS/CNT.
4. Evaluasi karakteristik anoda aluminium dibatasi pada pengujian *Potentiodynamic Polarization* (Tafel) untuk menentukan potensial korosi dan laju korosi, *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) untuk mengevaluasi karakteristik impedansi dan transfer muatan, serta *Galvanostatic Charge–Discharge* (GCD) untuk mengevaluasi kapasitas dan kinerja awal baterai.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penulisan penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab, yaitu: Bab I Pendahuluan menguraikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir. Bab II Tinjauan Pustaka mencakup teori-teori dari berbagai referensi sebagai acuan dalam penulisan laporan. Bab III Metodologi menjelaskan tahapan serta metode dalam penelitian. Bab IV menyajikan hasil dan pembahasan, termasuk hasil pengujian dan analisis terkait. Bab V adalah penutup berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.