

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan permintaan energi global terus meningkat akibat dari pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan ketergantungan terhadap energi berbasis fosil. Tercatat bahwa >80% dari permintaan global merupakan presentase penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama (Mahala, 2023). Di sisi lain, isu pemanasan global dan kelangkaan sumber energi tak terbarukan mendorong transisi menuju energi terbarukan. Namun, sifat intermiten dari sumber energi ini memerlukan sistem penyimpanan energi yang efisien, stabil, cepat dalam pengisian serta pelepasan energi (Adedoja et al., 2023). Baterai dan kapasitor konvensional selama ini telah berperan sebagai teknologi penyimpanan energi, namun ternyata keduanya mempunyai keterbatasan masing-masing. Baterai menawarkan penyimpanan dengan kepadatan energi yang lebih tinggi tetapi laju pengisian yang lambat, baterai juga memiliki kemampuan pengiriman daya yang rendah, masa pakai yang pendek, dan masalah keamanan (Beknalkar et al., 2022). Di sisi lain, proses pengisian kapasitor cepat tetapi terhambat oleh kapasitas penyimpanan yang rendah (Adedoja et al., 2023).

Superkapasitor muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan baterai dan kapasitor konvensional. Superkapasitor merupakan jenis kapasitor elektrokimia yang memiliki kerapatan daya yang tinggi, umur siklus yang panjang, stabilitas termal yang baik, serta waktu pengisian dan pengosongan yang cepat. Oleh karena itu, superkapasitor sangat cocok untuk diaplikasikan dalam sistem energi terbarukan, kendaraan listrik, dan perangkat elektronik portabel (Adedoja et al., 2023; Nayak et al., 2024). Superkapasitor dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: kapasitor elektrostatik, pseudokapasitor, dan kapasitor hibrida. Di antara ketiganya, pseudokapasitor tetap menjadi solusi yang menjanjikan karena mampu menggabungkan keunggulan baterai dan superkapasitor, yaitu rapat energi yang tinggi sekaligus kemampuan pengisian cepat. Tantangan utama yang masih

dihadapi adalah pemilihan material elektroda yang memiliki kinerja tinggi, stabilitas siklus baik, dan ramah lingkungan (Mahala, 2023).

Salah satu material yang menarik perhatian para peneliti akhir-akhir ini adalah titanium dioksida (TiO_2), karena memiliki kestabilan termal dan kimia yang tinggi, tidak beracun, biaya produksi relatif murah, dan tersedia melimpah di alam (Gupta et al., 2021). TiO_2 banyak digunakan pada aplikasi fotokatalis, superkapasitor, sel surya, sel bahan bakar, sensor, baterai, dan pengolahan air. TiO_2 memiliki celah pita yang lebar, sifat menyerap cahaya, mobilitas pembawa muatan, dan fleksibilitas struktural yang menjadikan TiO_2 cocok sebagai bahan untuk memecahkan masalah energi dan lingkungan yang ada pada saat ini (Rajagopal, 2018; Gupta et al., 2021).

Pengaplikasian langsung TiO_2 sebagai elektroda dalam superkapasitor ternyata masih terbatas oleh konduktivitas listrik yang rendah dan luas permukaan spesifik yang kecil. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan upaya dengan memodifikasi struktural dari TiO_2 yang akan digunakan sebagai elektroda superkapasitor dengan mengubah morfologi TiO_2 menjadi struktur nanometer seperti nanorods. Pada struktur nanorods, dapat memperbesar luas permukaan aktif reaksi elektrokimia dan memperpendek jalur difusi ion, sehingga meningkatkan kapasitansi dan efisiensi transfer muatan (Gupta et al., 2021; Zhang et al., 2022).

Metode sintesis yang terbukti efektif untuk membentuk struktur nano TiO_2 adalah metode hidrotermal (Gupta et al., 2021). Metode hidrotermal untuk sintesis TiO_2 NRs sangat sederhana, diproses secara kimia lunak, dan metode yang hemat biaya. Metode ini dilakukan dalam media cair pada kondisi suhu dan tekanan tinggi di dalam autoklaf tertutup, serta memungkinkan kontrol morfologi partikel (Gupta et al., 2021). Metode hidrotermal efisien dalam mengontrol morfologi material secara presisi, dengan variasi suhu pada saat sintesis sebagai parameter kunci untuk mengoptimalkan struktur dan morfologi material (Khan et al, 2024).

Variasi suhu reaksi dalam metode hidrotermal memegang peranan penting karena memengaruhi fasa kristal, ukuran, dan morfologi partikel TiO_2 . Suhu

rendah cenderung menghasilkan fasa anatase dengan aktivitas elektrokimia tinggi, sedangkan suhu tinggi dapat memicu transisi ke fasa rutil yang lebih stabil namun kurang aktif secara elektrokimia (Zhang et al., 2022). Oleh karena itu, studi tentang pengaruh suhu hidrotermal terhadap struktur dan morfologi TiO_2 menjadi sangat penting. Variasi suhu yang digunakan dalam penelitian ini mencakup lima titik: tanpa perlakuan hidrotermal, 140°C , 160°C , 180°C , dan 200°C . Rentang suhu ini dipilih untuk mengkaji batas kritis terjadinya perubahan struktur dan performa material TiO_2 (Adedoja et al., 2023; Nayak et al., 2024). Menurut Gupta, 2021, suhu optimal untuk mensintesis TiO_2 nanorod dengan metode hidrotermal adalah di rentang 140°C - 180°C (Gupta, 2021). Sedangkan menurut Si et al, 2023, hidrotermal TiO_2 di atas suhu 200°C menghasilkan produk *nanowires*. Penelitian Yamazaki, 2021 menyatakan bahwa pada suhu 200°C menghasilkan TiO_2 nanorod.

Proses sintesis dilakukan dengan menggunakan bahan baku TiO_2 komersial dan larutan NaOH sebagai agen alkali untuk mempercepat pembentukan struktur nano yang diinginkan (Adedoja et al., 2023; Nayak et al., 2024).

Elektrolit berperan penting dalam menentukan kinerja superkapasitor, karena berfungsi dalam menghasilkan, mengisi, dan mentransfer ion pada elektroda guna meningkatkan kapasitansi spesifik. Salah satu elektrolit yang efektif untuk aplikasi superkapasitor adalah asam sulfat (H_2SO_4). Elektrolit ini memiliki tegangan kerja sebesar 1,23 V, konduktivitas sekitar $\pm 8/2$, mampu beroperasi pada suhu tinggi hingga 150°C , serta memiliki diameter ion sekitar 0,26 nm. Ukuran ion yang relatif kecil ini dibandingkan dengan ion dari elektrolit seperti KOH dan KNO_3 yang memungkinkan lebih banyak ion masuk ke dalam pori-pori elektroda (Taer et al., 2020).

Untuk mengetahui kualitas material hasil sintesis, dilakukan berbagai teknik karakterisasi. Struktur kristal diamati dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) dan morfologi dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sedangkan sifat elektrokimia elektroda dianalisis dengan uji

CV (*Cyclic Voltammetry*), EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*), dan GCD (*Galvanostatic Charge-Discharge*). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan elektroda superkapasitor berbasis TiO₂ yang efisien dan ramah lingkungan (Adedoja et al., 2023; Nayak et al., 2024).

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu hidrotermal terhadap struktur, morfologi, dan kinerja elektrokimia TiO₂ komersial yang dimodifikasi nanorod sebagai elektroda superkapasitor yang ekonomis dan ramah lingkungan.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi dalam riset dan pengembangan TiO₂ sebagai elektroda superkapasitor yang ekonomis dan ramah lingkungan serta memperluas ilmu pengetahuan dalam media penyimpanan energi dan teknologi nanomaterial.