

# BAB I PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Dengan meningkatnya permintaan energi yang tidak teratur secara global, perangkat penyimpanan energi telah menjadi krusial dalam menjaga ketersediaan energi ini. Dalam konteks ini, terdapat kebutuhan untuk penyimpanan energi jangka pendek yang berfokus pada daya serta penyimpanan jangka panjang yang berfokus pada energi, semua ini diperlukan untuk menjaga keberlanjutan perangkat penyimpanan energi (Devi *et al.*, 2023). Semua perangkat elektronik portabel seperti ponsel pintar, laptop, jam tangan, power bank, dan kendaraan listrik hibrida memerlukan sistem penyimpanan energi yang efisien (Sunaina *et al.*, 2021). Teknologi penyimpanan energi saat ini sangat penting dikarenakan harapan konsumen dan pola konsumen dalam pemakaian energi yang selalu meningkat (Gupta *et al.*, 2023).

Diantara banyaknya perangkat penyimpanan energi yang fleksibel, superkapasitor dianggap sebagai yang paling menjanjikan karena tingkat pengisian dan pengosongan yang cepat, stabilitas siklus yang lama, rentang suhu operasi yang luas, dan kerapatan daya yang tinggi (Zhang *et al.*, 2021). Dalam mekanisme penyimpan energinya, superkapasitor dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Electric Double Layer Capacitor* (EDLC) yang biasa disebut dengan lapisan ganda listrik dan pseudokapasitor (Wu *et al.*, 2018). EDLC menyimpan energi melalui lapisan ganda listrik yang terbentuk di antara elektroda dan elektrolit dengan kapasitansi spesifik mereka sebagian besar ditentukan oleh area permukaan elektrolit yang dapat diakses (Ou *et al.*, 2015). Berbeda dengan EDLC, yang menyimpan energi dengan mengumpulkan ion pada permukaan elektroda, pseudokapasitor menyimpan muatan listrik dengan melibatkan reaksi redoks faradaik, elektrosorpsi, dan interkalasi yang cepat yang kapasitansi spesifik yang signifikan lebih tinggi daripada EDLC (Jayachandran *et al.*, 2020). Akan tetapi, pseudokapasitansi menunjukkan sifat laju dan sifat siklisitas yang buruk (Wu *et al.*, 2018). Bahan berbasis karbon seperti arang berpori, biochar, grafen, oksida grafen, oksida grafen

yang direduksi, dan nanotuba berbasis karbon semuanya termasuk dalam kategori EDLC. Mereka sangat cocok untuk berbagai aplikasi karena memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi. Di sisi lain, oksida logam (dengan keadaan transisi), berbagai sulfat, dan fosfat dengan sifat listrik, magnetik, dan elektrokimia yang sangat baik menunjukkan perilaku pseudokapasitif (Devi *et al.*, 2023).

Oksida logam telah menarik perhatian besar dalam bidang energi karena ketersediaan, stabilitas, dan efisiensinya yang tinggi untuk aplikasi konversi dan penyimpanan energi. Seperti Ruthenium Dioksida ( $\text{RuO}_2$ ) yang menderita oleh kelangkaan di kerak bumi dan biaya pengolahan yang tinggi (Mothkuri *et al.*, 2019). Biaya tinggi dan keterbatasan bahan terbaik mendorong perhatian pada oksida logam yang lebih terjangkau dan melimpah, termasuk Mangan Dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) (Sannasi & Subbian, 2020).  $\text{MnO}_2$  ini merupakan senyawa yang menonjol dengan perilaku elektrokimia superior dan memiliki aplikasi dalam berbagai bidang, termasuk sebagai katalis, komponen sel kering, pewarna anorganik untuk keramik, elektroda baterai elektrokimia, dan superkapasitor.  $\text{MnO}_2$  juga memiliki aplikasi kritis dalam berbagai proses konversi dan penyimpanan energi (Jayachandran *et al.*, 2020).  $\text{MnO}_2$  juga digunakan sebagai bahan elektroda dengan kapasitansi spesifik teoritis tinggi sebesar  $1370 \text{ F/g}^{-1}$  berdasarkan proses redoks yang melibatkan satu elektron per atom mangan. Dari segi kinerja elektrokimia,  $\text{MnO}_2$  memiliki beberapa keunggulan yang signifikan. Rentang potensial elektrokimia yang luas, mampu beroperasi dengan elektrolit berair yang ringan, tersedia secara melimpah, ekonomis, dan ramah lingkungan. Karakteristik elektrokimia yang unik ini menjadikan elektroda berbasis  $\text{MnO}_2$  sebagai kandidat yang menjanjikan untuk sistem penyimpanan energi berkinerja tinggi (Abbas *et al.*, 2022). Namun, kinerja elektrokimia  $\text{MnO}_2$  dibatasi oleh konduktivitas elektronik dari materi yang padat tanpa struktur berpori (Siwawongkasem *et al.*, 2022).

Diketahui bahwa sifat-sifat  $\text{MnO}_2$  dapat ditingkatkan melalui teknik sintesis untuk memodifikasi struktur mereka. Berdasarkan mekanisme penyimpanan, faktor-faktor yang paling penting adalah luas permukaan spesifik dan bahan penyangga yang memiliki luas permukaan tinggi (Siwawongkasem *et al.*, 2022). Teknik sintesis dapat dimodifikasi untuk memodifikasi struktur material  $\text{MnO}_2$  dan

meningkatkan sifat-sifatnya. Berbagai metode persiapan seperti hidrotermal, sol-gel, *soft template*, ko-presipitasi, mikro-emulsi, metode semprotan, reduksi elektrokimia, teknologi sputtering, gelombang mikro and *sonochemical* yang telah digunakan untuk berbagai persiapan material MnO<sub>2</sub> (Sannasi & Subbian., 2020).

Seperti yang dilaporkan oleh Chu et al. (2017), menunjukkan bahwa dengan hanya mengubah suhu dan tekanan dalam autoklaf, berbagai bentuk morfologi yang murni dari nanostruktur MnO<sub>2</sub> dapat dihasilkan. Selain itu, peningkatan suhu sintesis juga dapat mempengaruhi fasa struktur kristal yang juga berdampak pada morfologi permukaan yang berbeda yang dapat memengaruhi luas permukaan dan akses ion elektrolitik ke permukaan material yang dapat mempengaruhi kinerja elektrokimia dari MnO<sub>2</sub> yang memiliki peran kunci dalam menentukan performa elektrokimianya (Devi et al., 2023 ; Musil et al., 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Kumar et al. (2020) menggunakan suhu hidrotermal 60<sup>o</sup>C yang menunjukkan sifat amorf dan 80<sup>o</sup>C yang dapat diindeks sebagai β-MnO<sub>2</sub> dengan kristalinitas rendah dan MnO<sub>2</sub>. Dengan menggunakan tiga variasi suhu 120<sup>o</sup>C, 140<sup>o</sup>C, 160<sup>o</sup>C untuk sintesis MnO<sub>2</sub>, Chen et al. (2023) membuktikan bahwa peningkatan suhu hidrotermal meningkatkan kristalinitas dan struktur kristal MnO<sub>2</sub>. Difraksi nanorod MnO<sub>2</sub> pada 160 °C lebih tajam dan lebih kristalin. Sementara pada suhu yang lebih rendah terlihat tingkat kristalinitas yang lebih rendah mengindikasikan adanya campuran sifat amorf dan nanokristalin dalam sampel yang mencerminkan tingkat kemurnian yang lebih rendah. Sunaina et al. (2021) mensintesis MnO<sub>2</sub> menggunakan metode hidrotermal mengkonfirmasi bahwa ukuran kristal meningkat seiring dengan bertambahnya suhu yang dapat mempengaruhi kinerja elektrokimianya. Pada suhu yang lebih rendah menunjukkan kinerja elektrokimia lebih baik dibandingkan dengan suhu yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan metode hidrotermal dengan variasi suhu 160<sup>o</sup>C, 200 °C, dan 240 °C untuk mensintesis MnO<sub>2</sub> dengan morfologi, ukuran serta fasa yang terbentuk hanya dengan mengubah suhu hidrotermalnya. Penelitian yang mendalam tentang pengaruh suhu sangat penting karena suhu bukan sekadar parameter proses, tetapi merupakan kunci untuk mencapai kontrol

presisi terhadap karakteristik material yang dapat mengarah pada keefisienan material elektroda superkapasitor berbasis  $\text{MnO}_2$ .

Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat membantu merancang metode sintesis yang tepat untuk menghasilkan material  $\text{MnO}_2$  dengan sifat-sifat yang diinginkan sebagai material elektroda superkapasitor. Selain itu, penting untuk diingat bahwa superkapasitor yang dioptimalkan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi penting, termasuk kendaraan listrik, penyimpanan energi terbarukan, perangkat elektronik bergerak, dan bahkan dalam jaringan listrik pintar. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh suhu hidrotermal terhadap karakteristik  $\text{MnO}_2$  sebagai material elektroda superkapasitor bukan hanya relevan secara akademis, tetapi juga memiliki dampak nyata dalam mendukung peralihan menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan serta memenuhi tuntutan akan sumber energi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

### **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana variasi suhu hidrotermal ( $160^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ , dan  $240^\circ\text{C}$ ) mempengaruhi karakteristik material  $\text{MnO}_2$  yang dihasilkan melalui metode sintesis hidrotermal, dan dampaknya terhadap kinerja elektrokimia sebagai material elektroda superkapasitor?
2. Apakah terdapat suhu hidrotermal ( $160^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ , dan  $240^\circ\text{C}$ ) yang menghasilkan kinerja elektrokimia terbaik pada  $\text{MnO}_2$ ?
3. Bagaimana hasil penelitian ini dapat mendukung material elektroda superkapasitor berbasis  $\text{MnO}_2$  sebagai penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan?

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa tujuan penelitian yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi dan memahami variasi suhu hidrotermal (160°C, 200°C, dan 240°C) memengaruhi karakteristik material MnO<sub>2</sub> yang dihasilkan melalui metode sintesis hidrotermal.
2. Mengevaluasi kinerja elektrokimia MnO<sub>2</sub> sebagai penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan.
3. Menemukan suhu hidrotermal (160°C, 200°C, dan 240°C) yang menghasilkan kinerja elektrokimia terbaik pada MnO<sub>2</sub>.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa manfaat penelitian yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini membantu meningkatkan efisiensi energi dan kinerja penyimpanan energi alternatif dan ramah lingkungan pada elektroda superkapasitor berbasis MnO<sub>2</sub>
2. Penelitian ini memberikan pemahaman ilmiah mengenai suhu hidrotermal yang mempengaruhi pembentukan serta kinerja MnO<sub>2</sub> sebagai material elektroda superkapasitor, dan dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut di masa mendatang.
3. Penelitian ini dapat memperkuat daya saing nasional di bidang teknologi energi terbarukan, memberikan kontribusi signifikan dalam menghadapi tantangan global terkait energi dan lingkungan.