

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, kebutuhan energi global telah meningkat secara signifikan yang didorong oleh pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan peningkatan standar hidup (Ma dkk., 2024). Menurut proyeksi *International Energy Agency-IEA* hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% per tahun. Di tengah tekanan untuk memenuhi kebutuhan energi ini, perhatian dunia tertuju pada pengembangan teknologi penyimpanan energi yang efisien dan ramah lingkungan (Kırmızıtaş dkk., 2024).

Baterai dan kapasitor saat ini telah banyak digunakan sebagai perangkat penyimpan energi, namun keduanya tidak dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan rapat energi dan rapat daya yang tinggi. Superkapasitor muncul sebagai salah satu solusi inovatif karena menawarkan keunggulan seperti daya tinggi, siklus hidup panjang, dan waktu pengisian yang singkat dibandingkan dengan baterai konvensional untuk kebutuhan energi secara cepat dan efisien (Schoetz dkk., 2022; Burak dan Eldar, 2024; Guntreddi dkk., 2024). Namun, tantangan utama adalah memastikan pengembangan bahan superkapasitor yang tidak hanya efisien secara kinerja tetapi juga ramah lingkungan, sejalan dengan upaya global untuk mencapai keberlanjutan dalam sistem energi.

Karbon merupakan salah satu unsur paling melimpah di alam dan memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi teknologi, terutama dalam bidang penyimpanan energi. Keunikan sifat fisika dan kimia karbon, seperti konduktivitas listrik yang tinggi, luas permukaan besar, struktur pori yang dapat dimodifikasi, serta stabilitas elektrokimia yang baik, menjadikannya material yang sangat menarik untuk pengembangan superkapasitor, baterai, dan sistem penyimpanan energi lainnya (Lobato-Peralta dkk., 2024).

Grafena merupakan sebuah material berbasis karbon yang terdiri dari lapisan tunggal atom karbon tersusun dalam struktur hexagonal dua dimensi, telah menarik

perhatian besar dalam dunia material sains dan teknologi energi karena sifat-sifatnya yang unik. Grafena menunjukkan konduktivitas elektronik yang sangat tinggi dan luas permukaan spesifik yang besar, fleksibilitas mekanik yang luar biasa, serta stabilitas kimia dan termal yang baik sehingga menjadikannya kandidat yang ideal untuk berbagai aplikasi (Cossutta dkk., 2020). Namun, sintesis bahan grafena saat ini masih belum matang dan membutuhkan biaya yang mahal. Salah satu turunan dari grafena yaitu reduksi grafena oksida (rGO) memiliki karakteristik yang hampir sama dengan grafena dan telah banyak diaplikasikan sebagai material aktif elektroda pada superkapasitor (Kumar dkk., 2021). rGO biasanya disintesis melalui proses oksidasi-eksfoliiasi dari grafit untuk menjadi grafena oksida (GO) dan kemudian direduksi menjadi rGO melalui berbagai rute seperti kimia, termal, dan elektrokimia (Abdillah dkk., 2023).

Penggunaan material rGO sebagai material elektroda mempunyai keterbatasan yaitu kapasitansi intrinsik rGO yang buruk akibat restacking (penggumpalan) lapisan graphen dan agregasi sehingga mengurangi luas permukaan untuk adsorpsi ion elektrolit yang mengurangi kinerjanya sebagai material elektroda (Umar dkk., 2024). Di sisi lain, logam transisi oksida seperti MnO_2 menawarkan kapasitansi teoretis yang tinggi, sifat ramah lingkungan dan tidak beracun, biaya produksi yang relatif murah, struktur berpori dengan luas permukaan besar, dan kemampuan mengalami reaksi redoks reversibel (Lamba dkk., 2022; Li dkk., 2022; Ramkumar dkk., 2024).

Keunggulan MnO_2 dalam memberikan kontribusi pseudokapasitansi melalui mekanisme faradaik sangat menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan energi secara keseluruhan (Eraky dkk., 2023). Namun, kinerjanya sering terhambat oleh keterbatasan konduktivitas listrik dan stabilitas siklus yang belum optimal. Oleh karena itu, kombinasi antara rGO sebagai kerangka konduktif dengan MnO_2 sebagai penyedia kapasitansi tinggi melalui pembentukan komposit rGO/ MnO_2 yang optimal, mengatasi keterbatasan masing-masing material sekaligus memanfaatkan keunggulannya sehingga menghasilkan elektroda superkapasitor berkinerja tinggi untuk aplikasi penyimpanan energi masa depan.

Dalam upaya mengembangkan material elektroda superkapasitor yang berkinerja tinggi dan ramah lingkungan, penelitian ini memfokuskan pada sintesis komposit rGO/MnO₂ melalui metode hidrotermal satu langkah berbasis ekstrak kulit pisang. Penelitian ini menggabungkan prinsip kimia hijau dengan teknologi material modern yang memanfaatkan ekstrak kulit pisang sebagai agen pereduksi alami tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya tetapi juga menerapkan konsep ekonomi sirkular melalui valorisasi limbah biomassa. Metode hidrotermal satu langkah dipilih karena efisiensinya dalam mengontrol morfologi material secara presisi, dengan variasi temperatur sintesis sebagai parameter kunci untuk mengoptimalkan struktur material (Khan dkk., 2024).

Variasi temperatur hidrotermal 140°C, 160°C, dan 180°C dalam sintesis nanokomposit rGO/MnO₂ dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa rentang temperatur ini secara signifikan memengaruhi kristalinitas, morfologi, dan antarmuka material, yang berdampak langsung pada kinerja elektrokimia superkapasitor. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Xia, 2018), temperatur hidrotermal di bawah 140°C, GO tidak tereduksi dengan baik dan sintesis rGO di temperatur 140°C sampai 180°C menunjukkan bahwa GO sudah tereduksi dengan baik dan lebih efektif karena energi termal mempercepat pelepasan gugus oksigen (C=O, -OH) dan meningkatkan konduktivitas listrik rGO.

Studi oleh Zhang dkk. (2021) mengungkapkan bahwa temperatur 140-180°C optimal untuk pembentukan struktur MnO₂ kristalin dengan luas permukaan tinggi sekaligus mencegah degradasi termal pada matriks rGO. Penelitian Wang dkk. (2022) menunjukkan bahwa temperatur 160°C menghasilkan distribusi MnO₂ nanopartikel yang homogen pada permukaan rGO, meningkatkan konduktivitas listrik dan kapasitansi spesifik melalui efek sinergis EDLC dan pseudokapasitansi. Pemilihan rentang temperatur ini juga didasarkan pada pertimbangan energi hijau – temperatur di bawah 200°C mengurangi konsumsi energi proses sambil mempertahankan efektivitas reduksi GO oleh ekstrak kulit pisang yang mengandung polifenol dan flavonoid sebagai agen pereduksi alami.

Proses ini menawarkan keunggulan berupa kesederhanaan, kecepatan, dan hemat energi, (Gan dkk., 2020) dan memungkinkan pembentukan antarmuka rGO/MnO₂ yang ideal untuk aplikasi superkapasitor. Untuk memahami karakteristik komposit rGO/MnO₂ dilakukan karakterisasi menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sedangkan kinerja elektrokimia material elektroda superkapasitor meliputi *Cyclic Voltammetry* (CV), *Galvanostatic Charge Discharge* (GCD), dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dan akan dievaluasi menggunakan *Electrochemical Workstation*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis sintesis grafena oksida (GO) dengan metode hummers dan karakterisasi produk yang dihasilkannya.
2. Menganalisis sintesis nanokomposit rGO/MnO₂ dengan metode hidrotermal dan mengkarakterisasi produk yang dihasilkan melalui XRD, SEM, dan EDX.
3. Mengidentifikasi pengaruh variasi temperatur hidrotermal (140°C, 160°C, dan 180°C) material komposit rGO/MnO₂ yang dihasilkan dan dampaknya terhadap kinerja elektrokimia sebagai material elektroda superkapasitor.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan memberikan informasi mengenai pengaruh temperatur hidrotermal dalam proses sintesis hijau nanokomposit rGO/MnO₂ berbasis ekstrak kulit pisang untuk mengetahui kinerja elektrokimianya sebagai material elektroda superkapasitor, serta dapat dijadikan sebagai sumber informasi penelitian selanjutnya.