

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam bidang teknologi dan meningkatnya permintaan akan perangkat penyimpanan energi praktis telah mendorong para ilmuwan di seluruh dunia untuk mengembangkan perangkat penyimpanan energi yang efisien dan portabel. Perangkat yang paling mampu dan efisien dengan potensinya untuk memenuhi kebutuhan dalam penyimpanan energi adalah superkapasitor (Fu et al., 2019). Superkapasitor memiliki potensi besar dalam bidang energi di masa depan, dengan kinerja yang baik dalam densitas daya, densitas energi, waktu pengisian-pelepasan, dan umur siklus yang panjang (Liao et al., 2021). Penelitian dan pengembangan superkapasitor sebagian besar difokuskan pada bahan untuk pembuatan elektroda, termasuk bahan dari karbon, polimer konduktif, dan oksida logam. Karbon adalah bahan elektroda yang paling banyak digunakan karena memiliki luas permukaan spesifik yang besar dan struktur pori yang baik sehingga dapat memperpendek jarak difusi antara ion dalam penyimpanan energi (Majid et al., 2021). Oleh karena itu, karbon aktif dapat digunakan sebagai superkapasitor dalam bentuk *double-layered capacitor* yang memiliki umur siklus panjang (> 100000 siklus), dan proses pengisian-pelepasan yang cepat (Mandal et al., 2021). Superkapasitor *double-layered capacitor* bekerja melalui interaksi elektrostatik antara ion dengan elektrolit. Interaksi ini memberikan muatan pada permukaan bahan elektroda yang menentukan kapasitansi spesifik utama dari superkapasitor (Saikia et al., 2020).

Beberapa peneliti telah memproduksi karbon aktif dari bahan alam, seperti sekam padi (Yerdauletov et al., 2023), kulit jagung (Surya & Michael, 2020), tempurung kelapa (Nilufer Anwar Basha, 2023), kulit kakao (Yuli et al., 2021) dan masih banyak lagi. Salah satu bahan alam yang berpotensi dalam pembuatan elektroda adalah karbon yang berasal dari limbah ampas tebu, karena memiliki struktur berpori dan luas permukaan spesifik yang besar. Menurut data dari Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) tahun 2017, proses pembuatan gula menghasilkan 10,2 juta ton ampas tebu pertahun. Berdasarkan data tersebut sebanyak 60% digunakan sebagai bahan bakar ketel, dan sisanya berakhir sebagai limbah buangan yang dapat mencemari lingkungan (Okonkwo et al., 2021). Oleh karena itu, limbah buangan ampas tebu berpotensi untuk dimanfaatkan kembali

dengan mengolahnya menjadi karbon aktif. Nilai kapasitansi karbon aktif sangat bergantung pada luas permukaan spesifik dan ukuran pori yang mengakibatkan terjadinya kelelahan material (*material fatigue*) (Liao et al., 2021). Kelelahan material ini dapat membatasi jumlah energi yang dapat disimpan dalam superkapasitor. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan penggabungan antara karbon aktif dengan oksida logam seperti spinel ferit.

Material berstruktur spinel seperti spinel ferit (MFe_2O_4) telah menarik perhatian banyak peneliti terhadap sifat-sifat uniknya seperti sifat listrik, sifat optik dan sifat kemagnetannya. Berdasarkan sifat-sifat unik yang dimilikinya, spinel ferit memiliki aplikasi yang sangat luas seperti penyimpanan informasi (Tamilarasi et al., 2022), Penyimpanan energi (Liao et al., 2021), dan fotokatalis (Rahmayeni, Oktavia, et al., 2021). Ferrit memiliki sifat-sifat yang khas dan dipengaruhi oleh teknik sintesis dan komposisi stoikiometri. Spinel ferit pada umumnya memiliki rumus (AB_2O_4) di mana A menunjukkan ion logam bervalensi dua ($\text{Zn}^{2+}, \text{Ni}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$) dan B mewakili kation logam bervalensi tiga ($\text{La}^{3+}, \text{Co}^{3+}, \text{Ce}^{3+}, \text{Nd}^{3+}$) (Aslam et al., 2023). Berdasarkan distribusi kation dalam situs oktahedral dan tetrahedral, spinel ferit diklasifikasikan menjadi tiga struktur: *inverse*, *normal* dan *mixed* spinel (Li et al., 2023).

Diantara berbagai spinel ferrit, ZnFe_2O_4 memiliki sifat elektrik, sifat optik dan sifat magnet yang menjanjikan. ZnFe_2O_4 memiliki struktur kubik normal spinel XY_2O_4 , di mana anion oksigen membentuk kisi kubus FCC (*Face Central Cubic*) (Kmita et al., 2016). ZnFe_2O_4 masih menunjukkan sifat magnet yang kuat sehingga dapat menurunkan sifat dielektrik. Sifat dielektrik yang rendah, akan mengurangi kapasitas penyimpanan pada superkapasitor. Untuk mengurangi sifat magnet dari ZnFe_2O_4 bisa dicapai dengan penambahan doping logam bervalensi dua seperti Cd^{2+} (Parajuli & Murali, 2024; H. Yang et al., 2023). Penelitian sebelumnya pendopingan dengan Cd^{2+} menghasilkan penurunan sifat magnet yang ditandai dengan semakin berkurangnya nilai magnetik saturasi, sehingga sifat dielektrik semakin meningkat akibat berkurangnya energi *domain wall*. Sifat dielektrik yang meningkat ini sangat cocok diaplikasikan sebagai superkapasitor (Kogulakrishnan et al., 2024; Kombaiah et al., 2017a).

Berbagai teknik sintesis sudah banyak dilaporkan dalam mempersiapkan spinel ferrit seperti *sol-gel autocombustion* (Porrawatkul et al., 2020), hidrotermal (Rahmayeni et al., 2019a), ko-presipitasi (Sagadevan et al., 2018), dan ultrasonikasi (Mustaqeem et al., 2020). Metode sintesis $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dengan hidrotermal menjadi pilihan karena dimediasi oleh bahan alam, prosesnya yang sederhana, tingkat kemurnian sampel yang dihasilkan tinggi, tidak beracun, dapat dilakukan pada suhu rendah, dan ukuran partikel dapat dikontrol (Khalil et al., 2014; Mishra et al., 2022). Studi sebelumnya sudah ada yang memakai ekstrak tanaman dalam menyintesis ZnFe_2O_4 seperti ekstrak daun Simbang darah (*Iresine herbstii*) yang menghasilkan bentuk bulat dengan ukuran partikel berkisar dari 10-40 nm yang teragglomerasi (Rahmayeni, Febrialita, et al., 2021a), ekstrak biji Jatropha (*Jatropha surcas*) dengan partikel ZnFe_2O_4 berbentuk bulat teragglomerasi (Surendra et al., 2020), dan ekstrak bunga *Nyctanthes arbor-tristis* dengan bentuk partikel bulat berukuran antara 4-14 nm (Balasubramanian & Murali, 2020)

Uncaria gambir merupakan tanaman yang berasal dari Indonesia yang mengandung katekin yang dapat berfungsi sebagai *capping agent* (Yunarto et al., 2021). Analisis fotokimia telah mengungkapkan berbagai metabolit sekunder dalam ekstrak daun *Uncaria gambir* Roxb, seperti flavonoid, terpenoid, saponin, alkaloid, dan polifenol (Permatasari et al., 2023). Zat fenolik ini akan melapisi nanopartikel dalam larutan berbasis air, yang membantu mencegah penggumpalan ketika ion-ion mengendap dengan basa (Alharbi et al., 2022). Salah satu senyawa yang dapat digunakan sebagai *capping agent* dalam sintesis senyawa $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ yaitu golongan fenolik pada senyawa flavonoid yang strukturnya memiliki gugus hidroksil (-OH). Salah satu senyawa flavonoid yaitu katekin, senyawa katekin terkandung sebanyak 62,18% pada daun gambir dan telah banyak digunakan sebagai *capping agent* dalam sintesis nanopartikel (Handani et al., 2020).

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif dengan metode hidrotermal. Berdasarkan study literatur, belum ada laporan mengenai adanya sintesis komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif yang menggunakan ampas tebu sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif dan penggunaan ekstrak daun *Uncaria gambir* sebagai *capping agent*.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini menyelidiki pengaruh dari menambahkan konsentrasi Cd^{2+} dalam struktur kristal, magnetik, morfologi, sifat optik dan sifat dielektrik dari ZnFe_2O_4 memakai ekstrak daun *Uncaria gambir*, dan sintesis komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif sebagai elektroda pada superkapasitor serta memanfaatkan teknik seperti XRD, VSM, FTIR, SEM-EDX, UV-Vis DRS, potensiostat dan LCR Meter.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah proses sintesis $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif menggunakan metode hidrotermal dengan penambahan ekstrak daun gambir?
2. Bagaimanakah karakterisasi fisika dari material $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif yang disintesis menggunakan metode hidrotermal?
3. Apakah material komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif dapat diaplikasikan dalam superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menyintesis material $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif menggunakan metode hidrotermal dengan penambahan ekstrak daun gambir
2. Mengkarakterisasi material $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ dan komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif guna menganalisis struktur kristal, sifat magnet, sifat optik, morfologi, dan sifat dielektrik.
3. Membuat rangkaian elektroda superkapasitor dan menguji sifat elektrokimia dari komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif menggunakan potensiostat

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi terbaru mengenai pengaruh sintesis senyawa ZnFe_2O_4 yang didoping Cd^{2+} terhadap morfologi, sifat optik, magnetik, dan dielektrik yang dihasilkan. Senyawa komposit $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$ /karbon aktif diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan superkapasitor berbahan baku alam yang dapat digunakan sebagai media penyimpanan energi.