

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan perangkat elektronik, berkembangnya kendaraan listrik dan kendaraan hibrid, membutuhkan sistem penyimpanan energi dengan kapasitas dan daya tinggi. Sumber energi ini agar dapat digunakan setiap saat maka memerlukan peralatan penyimpanan dan konversi yang efisien dan andal. Kebutuhan ini menyebabkan penelitian dan pengembangan superkapasitor sangat diperlukan. Baterai, kapasitor dan superkapasitor berada di garis depan sistem penyimpanan energi elektrokimia, akan tetapi baterai memiliki kerapatan energi tinggi dan kerapatan daya yang rendah dikarenakan adanya reaksi redoks yang terjadi. Kapasitor memiliki jumlah penyimpanan muatan yang sangat kecil, sedangkan superkapasitor memiliki kerapatan energi dan kerapatan daya yang tinggi karena proses elektrostatis (Conway B.E, 1999). Oleh karena itu superkapasitor dianggap sebagai salah satu kandidat perangkat penyimpan energi yang paling menjanjikan saat ini sehingga superkapasitor banyak digunakan di berbagai bidang seperti kendaraan, komputer, dan perangkat telekomunikasi (Yu *et al.*, 2013).

Pemilihan bahan elektroda dalam superkapasitor akan menentukan sifat elektrokimia yang dihasilkan dan biaya rangkaian elektroda. Ada tiga jenis material elektroda yaitu karbon aktif, oksida logam, dan polimer konduktif. Oksida logam dan polimer konduktif jarang digunakan karena sifat listriknya yang tidak stabil dan mudah rusak secara mekanik karena proses *charge* dan *discharge*, preparasi dan biaya yang mahal (Wei *et al.*, 2019). Oleh karena itu dalam beberapa tahun terakhir, karbon aktif berbasis biomassa telah banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor, dan menjadi perhatian dalam penelitian-penelitian saat ini, bukan hanya karena jumlahnya yang melimpah tapi karakternya yang ramah lingkungan, struktur mikropori yang banyak, kaya dengan heteroatom serta luas permukaan spesifiknya yang besar.

Berbagai biomassa telah digunakan sebagai prekursor karbon aktif untuk dijadikan bahan elektroda superkapasitor seperti kulit buah manggis (Khajonrit *et al.*, 2022), kulit kentang (Y. Zhang *et al.*, 2021), cangkang kelapa sawit (Alif *et al.*,

2017), ampas kopi (Farma *et al.*, 2023), ampas jeruk lemon (Emrooz *et al.*, 2022), jerami (Charoensook *et al.*, 2021) dan tongkol jagung (Ortiz-Olivares *et al.*, 2022). Beberapa peneliti juga mempelajari pengaruh morfologi dan struktur pori karbon dengan prekursor dari tanaman jagung seperti kulit jagung manis (Usha Rani *et al.*, 2020), tongkol jagung (Y. Song *et al.*, 2020), rambut jagung (Zou *et al.*, 2021), dan penggunaan air laut sebagai elektrolit pada elektroda superkapasitor berbahan karbon aktif dari kulit jagung juga telah dilaporkan (Raj *et al.*, 2021). Sampai saat ini penelitian pemanfaatan tanaman jagung yaitu tongkol jagung dan kulit jagung sebagai prekursor karbon aktif telah banyak dilaporkan, akan tetapi masih sedikit yang meneliti pemanfaatan batang jagung sebagai prekursor karbon aktif untuk digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor. Batang jagung adalah limbah yang paling banyak dihasilkan setelah panen, biasanya dibiarkan kering dan kemudian dibakar, karena nilai ekonominya rendah sehingga pemanfaatannya tidak optimal, padahal batang jagung banyak mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin yang menjadikan tanaman ini dapat digunakan sebagai prekursor karbon aktif (Daud *et al.*, 2013).

Berbagai metode sintesis karbon aktif dari biomassa seperti metode hidrotermal dan mikrowave (Gajalakshmi *et al.*, 2023) telah banyak dilaporkan dan metode yang paling sering digunakan adalah karbonisasi 2 (dua) tahap yaitu tahap prekarbonisasi untuk mengubah biomassa menjadi struktur karbon dan tahap aktivasi secara kimia dan fisika untuk membentuk pori-pori karbon. Keseluruhan prosesnya membutuhkan waktu lebih lama, oleh karena itu perlu metode pengembangan sintesis karbon aktif yang efektif dari segi biaya dan waktu. Metode sintesis yang telah teruji memproduksi karbon dengan porositas tinggi yaitu metode dehidrasi asam (Oyedotun *et al.*, 2019; Isahak *et al.*, 2013; 2020). Ukkakimapan *et al.* (2020) melaporkan bahwa metode dehidrasi sebagai pengganti prekarbonisasi sangat efektif dalam sintesis karbon aktif dari kulit durian sebagai elektroda superkapasitor dengan kapasitansi 145 F/g, metode yang sama juga dilaporkan dehidrasi pada gula putih yang menghasilkan struktur mikropori dengan kapasitansi mencapai 242,67 F/g (Oyedotun *et al.*, 2019).

Seiring dengan proses karbonisasi maka peningkatan porositas pada karbon aktif dapat dilakukan dengan penambahan zat pengaktif yang diikuti dengan

pirolisis. Biasanya agen pengaktif seperti KOH, NaOH dan $ZnCl_2$ lebih banyak digunakan karena mampu menghasilkan banyak pori. Di antara zat pengaktif tersebut maka KOH adalah salah satu zat yang paling kuat dalam mengaktifasi pori karbon pada suhu tinggi sehingga menghasilkan luas permukaan dan volume pori yang besar (Zhu *et al.*, 2023). Dibandingkan dengan NaOH maka aktivasi dengan KOH lebih banyak menghasilkan distribusi ukuran mikropori, melalui peran gandanya dalam menghasilkan jaringan berpori dan juga bertindak sebagai agen pengelupasan dan melepas pengotor yang ada dipermukaan dan bagian dalam pori (Karahehya, 2023). Menurut Zhang *et al.* (2022), aktivasi KOH melibatkan etsa kimia, ablasi dan interkalasi, yang dapat secara efektif meningkatkan luas permukaan karbon aktif, dengan metode yang tepat maka aktivasi KOH merupakan langkah penting untuk mengontrol struktur pori dan distribusi bahan karbon berbasis biomassa, yang akan menentukan kinerja superkapasitor. Oleh karena itu, dalam proses sintesis karbon aktif dari batang jagung, kondisi spesifik KOH sangat penting agar dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor berkinerja tinggi.

Selain metode sintesis untuk mendapatkan luas permukaan dan volume pori yang besar, peningkatan kinerja superkapasitor juga dapat di tingkatkan dengan menambahkan doping dari beberapa unsur untuk memudahkan proses penyimpanan muatan dalam superkapasitor. Hasil penelitian menemukan bahwa adanya heteroatom (N, O, B, P dan S) ke permukaan karbon aktif tidak hanya dapat meningkatkan konduktivitas karbon, tetapi juga membantu meningkatkan keterbasahan (*wettability*) antarmuka elektroda/elektrolit dan adanya pseudokapasitansi tambahan melalui reaksi redoks (Guo *et al.*, 2021). Di antara heteroatom ini, N adalah unsur terdekat setelah C, oleh karena itu doping N dalam kerangka karbon dapat diterapkan dengan mudah karena jari jari kovalen karbon $0,77 \text{ \AA}$ yang hampir sama dengan nitrogen $0,74 \text{ \AA}$ (Zhu *et al.*, 2023). Doping N pada kerangka karbon telah dibuktikan dapat menyediakan tempat yang lebih aktif untuk penyimpanan energi, dan meningkatkan konduktivitas listrik pada superkapasitor (Ruan *et al.*, 2022). Karbon aktif N-doped dapat menggunakan sumber nitrogen dari melamin (Shaku *et al.*, 2023), NH_4Cl (Wang *et al.*, 2022), dan urea (Zou *et al.*, 2018), namun sampai saat ini belum ada dilaporkan penggunaan bahan alami sebagai sumber nitrogen.

Cangkang telur ayam merupakan limbah rumah tangga yang jarang dimanfaatkan, cangkang telur ayam terdiri dari cangkang dan membran cangkang telur ayam. Membran cangkang telur ayam sebagian besar terdiri dari protein (sekitar 80-85%) (Torres-Mansilla *et al.*, 2023) sehingga membran telur ayam dapat dijadikan sebagai sumber nitrogen alami dalam sintesis karbon aktif *N-doped*.

Pada penelitian ini dilakukan sintesis karbon aktif yang mudah, dan ramah lingkungan dalam pengembangan material elektroda elektroda superkapasitor. Biomassa batang jagung dipilih sebagai precusor dengan tujuan ekologi dan ekonomi, yaitu memanfaatkan limbah yang secara ekologi mengurangi pencemaran dan secara ekonomi mendatangkan keuntungan terhadap karbon aktif yang dihasilkan. Karbon aktif yang dihasilkan di karakterisasi berdasarkan morfologi dan komposisi unsur, volume pori dan luas permukaan spesifik serta gugus fungsi yang ada pada permukaan karbon aktif. Penggunaan doping N dengan sumber nitrogen dari bahan alami ini yaitu membran cangkang telur ayam belum pernah dilaporkan sebelumnya dan ini merupakan penelitian yang pertama dilakukan. Sehingga pada penelitian ini sangat diinginkan untuk mengembangkan strategi yang hemat biaya dalam mensintesis karbon aktif kaya nitrogen sebagai elektroda untuk meningkatkan kinerja superkapasitor sebagai solusi dalam memecahkan masalah lingkungan dan energi pada saat yang bersamaan.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimanakah sintesis dan karakterisasi dari karbon aktif *N-doped* berbasis batang jagung (*Zea Mays.L*) melalui metode dehidrasi ?
2. Apakah membran cangkang telur ayam dapat dimanfaatkan sebagai sumber nitrogen alami untuk karbon aktif *N-doped* berbasis batang jagung (*Zea Mays.L*)?
3. Bagaimanakah interaksi nitrogen dengan karbon aktif dari batang jagung (*Zea mays.L*) dalam meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor?
4. Bagaimanakah sifat-sifat elektrokimia dari elektroda superkapasitor ?

1.3 Tujuan penelitian

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi karbon aktif *N-doped* berbasis batang jagung melalui metode dehidrasi
2. Meneliti pemanfaatan membran cangkang telur ayam sebagai sumber nitrogen dalam karbon aktif *N-doped* berbasis batang jagung
3. Mempelajari interaksi nitrogen dengan karbon aktif dari batang jagung dalam meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor
4. Menganalisis sifat – sifat elektrokimia dari elektroda superkapasitor

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menemukan metode sintesis karbon aktif *N-doped* dengan prekursor biomassa dari batang jagung dan doping nitrogen dari membran cangkang telur ayam sebagai elektroda superkapasitor yang ramah lingkungan
2. Salah satu pengembangan inovasi teknologi dalam riset terapan yang mendukung peningkatan daya saing industri dan kebutuhan akan penyimpanan energi yang ramah lingkungan.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesa dari penelitian ini adalah bahwa sintesis karbon aktif *N-doped* dengan memanfaatkan limbah batang jagung sebagai precursor dan membran cangkang telur sebagai sumber atom nitrogen melalui metode dehidrasi dapat diaplikasikan sebagai elektroda superkapasitor yang ramah lingkungan.

Sintesis karbon aktif dengan metoda dehidrasi dapat dijadikan sebagai pengganti metode prekarbonisasi dan penggunaan membran cangkang telur ayam sebagai sumber atom nitrogen dalam sintesis karbon aktif *N-doped* dapat meningkatkan kinerja dari elektroda superkapasitor.

1.6 Kebaruan Penelitian

1. Membuat karbon aktif *N-doped* sebagai elektroda superkapasitor ramah lingkungan dengan memanfaatkan potensi dari batang jagung sebagai precursor karbon aktif dan membran cangkang telur sebagai bahan alami sumber atom N

2. Mengembangkan metode sintesis karbon aktif *N-doped* yang hemat biaya, dan ramah lingkungan melalui metode dehidrasi untuk meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor

