

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kulit buah nipah (*Nypa fruticans*) merupakan limbah biomassa yang melimpah di daerah pesisir tropis, terutama di Indonesia, namun belum dimanfaatkan secara optimal dan cenderung terbuang sebagai limbah organik. Padahal kulit buah ini mengandung komponen lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berpotensi tinggi sebagai bahan baku karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan dari limbah biomassa memiliki keunggulan seperti biaya produksi rendah, ketersediaan melimpah, serta ramah lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan kulit buah nipah sebagai prekursor karbon aktif menjadi langkah strategis dalam mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan dan pengembangan material berbasis sumber daya lokal. Seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem penyimpanan energi yang efisien dan berkelanjutan, pengembangan karbon aktif dari limbah kulit buah nipah menjadi alternatif yang menjanjikan untuk mendukung material fungsional dalam perangkat penyimpan energi modern.

Penyimpanan energi saat ini berupa baterai dan superkapasitor, baterai menawarkan kepadatan energi yang lebih tinggi, kepadatan daya yang lebih rendah dan masa pemakaian yang singkat dengan menghasilkan limbah B3. Sebaliknya, superkapasitor memiliki beberapa keunggulan, yaitu kepadatan daya tinggi ($5-10 \text{ kW g}^{-1}$), tingkat pengisian dan pengosongan lebih cepat, masa pakai yang lebih lama (> 500.000 siklus), efisiensi tinggi (95 %), rentang suhu operasional yang luas, dan ramah lingkungan¹.

Tipe superkapasitor berdasarkan mekanisme penyimpanannya yaitu *Electrochemical double-layer capacitors* (EDLC) dan *Pseudocapacitors*. Umumnya pada superkapasitor menggunakan tipe EDLC sebab bekerja berdasarkan adsorpsi elektrostatis ion di antarmuka elektroda dan elektrolit, bukan reaksi kimia. Oleh karena tidak terjadi perubahan kimiawi, EDLC bisa bertahan hingga ratusan ribu hingga jutaan siklus, jauh lebih tahan lama dibandingkan pseudokapasitor. Selain itu, EDLC biasanya dibuat dari karbon aktif yang relatif murah dan mudah diproses, dibandingkan dengan pseudokapasitor yang menggunakan material redoks aktif seperti logam oksida atau polimer konduktif. EDLC juga lebih stabil dalam berbagai kondisi operasional dan tidak mudah mengalami degradasi kimia, sehingga lebih aman untuk jangka panjang².

Pemilihan tipe superkapasitor seperti EDLC erat kaitannya dengan jenis elektroda yang digunakan mengingat masing-masing tipe memerlukan material dengan sifat tertentu untuk mendukung mekanismenya. Pada umumnya elektroda superkapasitor berbahan dasar oksida logam, polimer dan karbon aktif. Oksida logam dan polimer umumnya memiliki kapasitansi besar, namun preparasi sulit dan tidak stabil. Karbon aktif dengan luas permukaan yang besar merupakan bahan elektroda yang lebih terjangkau dengan kapasitansi lebih dari 100 F/g ³. Saat ini karbon aktif lebih banyak digunakan karena ramah lingkungan, mudah didapat, mudah

preparasi dan bersifat konduktif. Karbon aktif dapat bersumber dari biomassa agar ramah lingkungan. Salah satunya adalah kulit buah nipah. Kulit buah nipah memiliki kandungan selulosa dan lignin yang tinggi, masing-masing sebesar 36,5 % dan 27,3 %, menjadikannya bahan yang cocok untuk digunakan sebagai material karbon aktif. Kulit buah nipah banyak ditemukan di sepanjang pinggir pantai jalan menuju Kota Pariaman yang selama ini menjadi limbah dan belum di manfaatkan. Oleh karena itu, peneliti memanfaatkan kulit nipah sebagai sumber biomassa untuk karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor⁴.

Karbon aktif dapat disintesis dengan 2 metoda yaitu karbonisasi dan dehidrasi. Pada penelitian Ukkakimapan (2020) karbon aktif yang disintesis dengan dehidrasi menghasilkan proses yang sederhana, biaya rendah, dan waktu yang singkat untuk mencapai karbon aktif yang didoping melalui heteroatom dengan luas permukaan yang tinggi untuk superkapasitor berkinerja tinggi. Sintesis dengan dehidrasi memberikan keuntungan yang signifikan dibandingkan sintesis metoda karbonisasi, termasuk luas permukaan yang lebih tinggi, kinerja volumetrik yang lebih baik dan efektivitas biaya. Manfaat-manfaat ini menjadikan sintesis dehidrasi sebagai metode yang menjanjikan untuk mengembangkan material karbon aktif untuk aplikasi penyimpanan energi⁵. Selain itu, Yohana (2021) melakukan penelitian limbah akar wangi sebagai karbon aktif untuk elektroda superkapastor⁶. Marzuki (2022) juga menggunakan karbon aktif dari limbah serat sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor⁷. Sampai saat ini belum ada yang melaporkan penggunaan karbon aktif dari kulit buah nipah sebagai elektroda superkapasitor.

Peningkatan kinerja karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor dapat dilakukan dengan aktivasi karbon untuk memperluas permukaan pori, volume pori, dan struktur mikro dan mesopori. Aktivator yang bersifat basa umumnya digunakan untuk bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang tinggi, karena aktivator yang bersifat basa dapat bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung karbon. KOH merupakan aktivator bersifat basa yang efektif untuk membentuk mikropori dibandingkan NaOH. Oleh sebab itu, penggunaan KOH sebagai aktivator akan mempengaruhi morfologi permukaan karbon dan memperbesar luas permukaan karbon sehingga akan diperoleh sifat elektrokimia elektroda superkapasitor yang meningkat⁸. Telah banyak penelitian yang menggunakan KOH sebagai aktivator diantaranya yaitu Marzuki pada tahun 2022 menggunakan KOH sebagai aktivator⁷, Randy pada tahun 2019 juga menggunakan KOH sebagai aktivator⁹, dan Farma pada tahun 2022 juga menggunakan KOH sebagai aktivator¹⁰.

Beberapa penelitian melaporkan untuk meningkatkan kinerja superkapasitor dilakukan doping heteroatom terhadap karbon aktif dengan tujuan untuk meningkatkan konduktifitas dan *wettability* dari karbon aktif. Doping heteroatom adalah cara yang efektif untuk meningkatkan *wettability* permukaan karbon. Karbon murni umumnya bersifat hidrofobik dan memiliki afinitas yang kurang dengan elektrolit berair, sehingga menurunkan aksesibilitas ion dan

menyebabkan kemampuan penyimpanan muatan yang rendah, adanya doping nitrogen akan meningkatkan sifat hidrofilik¹¹.

Beberapa penelitian telah menggunakan atom nitrogen pada karbon aktif *N-doped*. Atom nitrogen memiliki satu elektron lebih banyak daripada karbon, dapat meningkatkan mobilitas elektron dalam jaringan karbon, sehingga memperbaiki konduktivitas. Selain itu posisi atom nitrogen berdekatan dengan atom karbon dalam sistem periodik sehingga memiliki sifat yang mirip dan mempermudah proses *N-doped*. Karbon aktif *N-doped* membuat permukaan karbon lebih bersifat hidrofilik, meningkatkan keterbasahan (*wettability*) terhadap elektrolit, sehingga ion lebih mudah berinteraksi dengan permukaan elektroda¹².

Karbon aktif *N-doped* dapat diperoleh dari urea ((NH₂)₂CO), amonia (NH₃), melamin (C₃H₆N₆) dan lainnya. Karbon aktif *N-doped* dari urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena stabil serta mudah didapat dengan harga yang relatif murah¹³. Urea mengandung 46 % nitrogen dan saat dipanaskan (di atas 300–400 °C), urea mudah terurai menjadi gas-gas kaya nitrogen (seperti amonia, isosianat) yang bisa langsung berikatan dengan karbon dan membentuk gugus N-fungsional (seperti *pyridinic-N* dan *graphitic-N*). Urea larut dalam air, sehingga bisa dicampurkan ke bahan karbon biomassa sebelum karbonisasi tanpa kesulitan¹⁴. Penggunaan urea terhadap karbon aktif ampas tebu memberikan luas permukaan karbon aktif sebesar 301,34 m²/g⁹ dan dengan wangi memberikan luas permukaan karbon aktif sebesar 552,90 m²/g⁶. Selain itu, penelitian karbon aktif *N-doped* dengan urea terhadap karbon aktif tandan kosong kelapa sawit memberikan luas permukaan karbon aktif sebesar 363,88 m²/g¹⁵. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan urea sebagai sumber atom nitrogen untuk menghasilkan elektroda superkapasitor dengan nilai kapasitansi yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakterisasi karbon aktif *N-doped* dari limbah kulit buah nipah dan urea sebagai sumber atom N untuk dijadikan sebagai material elektroda superkapasitor?
2. Bagaimana sifat-sifat elektrokimia karbon aktif *N-doped* sebagai elektroda superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakterisasi karbon aktif *N-doped* dari limbah kulit buah nipah dan urea sebagai sumber atom N untuk dijadikan sebagai material elektroda superkapasitor
2. Mengetahui sifat-sifat elektrokimia karbon aktif *N-doped* sebagai elektroda superkapasitor

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk meningkatkan potensi limbah kulit buah nipah menjadi karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor dengan kapasitas penyimpanan energi tinggi dan ramah lingkungan.