

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama yang digunakan dalam berbagai kehidupan. Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi dan meningkatnya penggunaan perangkat elektronik portabel seperti ponsel, laptop, kendaraan listrik, serta sistem energi terbarukan. Dalam hal ini, keberadaan sistem penyimpanan energi yang efisien, cepat, dan berkelanjutan sangatlah penting untuk menjamin ketersediaan energi secara *real-time*, terutama saat sumber energi utama tidak tersedia. Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi penyimpanan energi menjadi fokus utama dalam pengembangan sains dan teknologi saat ini. Salah satu perangkat penyimpanan energi yang berkembang pesat adalah superkapasitor¹. Superkapasitor atau dikenal juga sebagai kapasitor elektrokimia (EDLC, *Electro-chemical double-layer Capacitors*) merupakan suatu sistem lapisan rangkap listrik yaitu elektroda yang dipisahkan oleh separator². Superkapasitor terdiri dari karbon dengan permukaan area yang sangat aktif atau disebut juga karbon aktif dan selimut lapisan elektrolit yang tipis yang berfungsi sebagai dielektrik dan pemisah muatan.

Superkapasitor dipilih sebagai sistem penyimpanan energi pada penelitian ini karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan perangkat penyimpanan energi lainnya, seperti baterai dan kapasitor konvensional. Tidak seperti baterai yang bekerja melalui proses elektrokimia yang relatif lambat dan memiliki umur siklus terbatas, superkapasitor menyimpan energi secara fisik melalui mekanisme pembentukan lapisan ganda listrik, sehingga memungkinkan proses pengisian dan pelepasan muatan berlangsung dalam waktu yang sangat singkat. Selain itu, superkapasitor memiliki umur siklus yang jauh lebih panjang, mencapai ratusan ribu hingga jutaan siklus, serta stabilitas termal dan kimia yang baik, yang menjadikannya lebih andal untuk aplikasi jangka panjang³.

Keunggulan lainnya adalah kepadatan daya (*power density*) yang tinggi, efisiensi energi yang relatif besar, dan ramah lingkungan sehingga superkapasitor sangat sesuai untuk aplikasi yang memerlukan kinerja tinggi dalam waktu singkat, seperti sistem pengereman regeneratif pada kendaraan listrik, stabilisasi tegangan, serta perangkat elektronik portabel. Sementara itu, perangkat penyimpanan energi lain seperti baterai konvensional umumnya memiliki keterbatasan dalam hal waktu pengisian yang lama, degradasi material yang signifikan selama siklus penggunaan, serta memiliki risiko keamanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, material elektroda memainkan peran penting dan menjadi aspek utama dalam meningkatkan kinerja superkapasitor yang terkait dengan luas permukaan spesifik dan kapasitansi spesifik⁴.

Salah satu jenis material elektroda yang paling banyak digunakan adalah karbon aktif karena memiliki sifat konduktivitas listrik tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, serta stabilitas kimia dan termal yang baik⁵. Meskipun tersedia berbagai material elektroda lain

seperti logam oksida, polimer konduktif, karbon nanotube, karbon aerogel, dan graphene, karbon aktif tetap menjadi pilihan utama karena sifatnya yang murah, ringan, ramah lingkungan, dan tidak beracun, serta mampu membentuk struktur berpori yang mendukung terbentuknya lapisan ganda listrik (*electric double-layer*) yang efisien⁶.

Berbagai macam bahan elektroda telah banyak diteliti untuk meningkatkan kinerja kapasitor elektrokimia, baik sebagai bahan elektroda aktif, pengikat elektroda maupun komponen elektrolit. Di antara berbagai pilihan tersebut, biomassa dan bahan turunan biomaterial memiliki peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah, mudah terurai, serta sejalan dengan prinsip ramah lingkungan⁵. Pemanfaatan limbah biomassa seperti cangkang kelapa sawit⁷, biji karet⁸, ampas kacang⁹, serat pisang¹⁰, dan kulit jeruk¹¹ telah terbukti mampu menghasilkan karbon aktif berkualitas tinggi yang sesuai untuk aplikasi elektroda superkapasitor. Penelitian oleh Fajarandi (2024) berhasil mengembangkan elektroda dari batang jagung yang didehidrasi H_2SO_4 dan aktivasi dengan NaOH, menghasilkan luas permukaan $117,97 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kapasitansi spesifik $133,9 \text{ F/g}$ ¹². Penelitian lain oleh Olly dkk. (2024) menggunakan kulit jeruk (*Citrus sinensis*) melalui metode dehidrasi H_2SO_4 dan aktivasi KOH menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan $140 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kapasitansi sebesar $10,75 \text{ mF}$ ¹³.

Salah satu sumber biomassa yang memiliki potensi besar namun belum banyak dimanfaatkan adalah kulit buah nipah (*Nypa fruticans*). Kulit buah nipah, yang banyak ditemukan di wilayah pesisir Indonesia seperti di Pariaman, Sumatera Barat, merupakan limbah pertanian yang mengandung komponen utama pembentuk karbon seperti selulosa (36,5%), hemiselulosa (21,8%), dan lignin (27,3%)¹⁴. Kandungan tersebut menjadikan kulit buah nipah sebagai bahan baku yang potensial untuk sintesis karbon aktif. Selain itu, pemanfaatan limbah organik seperti kulit buah nipah juga lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian pembuatan karbon aktif dari kulit buah nipah sudah pernah dilakukan oleh Muhammad dkk. (2025) dengan menggunakan metoda karbonisasi pada suhu $800 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam, aktivator KOH menghasilkan luas permukaan spesifik $989,3 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kapasitansi spesifik 142 F/g ¹⁵.

Untuk meningkatkan kualitas karbon aktif, dilakukan aktivasi kimia yang merupakan salah satu metode yang sangat umum untuk mengaktifkan karbon dengan reagen kimia sebagai aktivator. Aktivasi dapat dilakukan dalam satu langkah, di mana aktivator dicampur dengan biomassa dan dipanaskan pada temperatur rendah. Kualitas karbon aktif yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis aktivator yang digunakan dalam proses aktivasi. Aktivator kimia yang bisa digunakan dalam produksi karbon aktif antara lain $ZnCl_2$, KOH, H_2SO_4 , H_3PO_4 , serta $CaCl_2$ dan Na_2CO_3 . Aktivator yang umumnya digunakan untuk bahan baku dengan kandungan karbon tinggi adalah aktivator bersifat basa, karena basa akan bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung karbon¹⁶. KOH dipilih karena dikenal sangat efektif untuk meningkatkan kinerja elektroda superkapasitor, karena dapat membentuk struktur

mikropori dan mesopori, memperbesar luas permukaan, dan menghasilkan karbon dengan distribusi pori yang merata. Beberapa penelitian seperti oleh Lu dkk. (2022) dan Yola dkk. (2020) menunjukkan bahwa KOH lebih unggul dibanding aktivator lain seperti NaOH atau $ZnCl_2$ dalam menghasilkan karbon dengan karakteristik elektrokimia yang unggul^{17,18}. Selain itu, produk samping dari aktivasi KOH dapat dengan mudah dibersihkan dan prosesnya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan aktivator lainnya¹⁸.

Proses pembuatan karbon aktif dalam penelitian ini juga menggunakan metode dehidrasi asam sebagai tahapan awal. Dehidrasi dengan asam sulfat (H_2SO_4) telah banyak digunakan pada bahan biomassa untuk menguraikan selulosa dan membantu pembentukan gugus fungsional oksigen pada permukaan karbon, sekaligus membuka pori-pori awal sebelum aktivasi. Dehidrasi sukrosa adalah reaksi eksotermik yang terkenal dimana sukrosa mengalami dehidrasi dan panas yang dihasilkan mengubah air menjadi uap yang kemudian mengembang karbon yang tersisa menjadi struktur berpori. Hasil ini menunjukkan bahwa preparasi karbon aktif melalui dehidrasi asam memberikan proses yang sederhana, berbiaya rendah, cepat dan efisien dibandingkan metode karbonisasi bertahap yang memerlukan suhu sangat tinggi dan waktu lebih lama.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan bahan elektroda karbon aktif dari kulit buah nipah yang berpori tinggi, luas permukaan yang besar, dan memiliki kapasitansi spesifik tinggi, sehingga dapat meningkatkan kinerja superkapasitor dengan daya penyimpanan muatan yang besar melalui pendekatan green chemistry, memanfaatkan limbah biomassa lokal, dan teknik aktivasi serta dehidrasi yang terkontrol. Keunggulan lain yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya material elektroda superkapasitor yang efisien, murah, ramah lingkungan, dan berpotensi menggantikan bahan impor, sehingga mendukung ketahanan energi dan pengelolaan limbah nasional secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah karbon aktif dari limbah kulit buah nipah yang disintesis dengan metode dehidrasi dan aktivasi KOH dapat dimanfaatkan sebagai elektroda superkapasitor?
2. Bagaimanakah sifat-sifat elektrokimia karbon aktif dari limbah kulit buah nipah yang disintesis dengan metode dehidrasi dan aktivasi KOH sebagai elektroda superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui manfaat karbon aktif dari limbah kulit buah nipah yang disintesis dengan metode dehidrasi dan aktivasi KOH sebagai elektroda superkapasitor.
2. Mempelajari sifat-sifat elektrokimia karbon aktif dari limbah kulit buah nipah yang disintesis dengan metode dehidrasi dan aktivasi KOH sebagai elektroda superkapasitor.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah kulit nipah yang jumlahnya berlimpah secara optimal, serta memberikan informasi sintesis karbon aktif sebagai bahan elektroda superkapasitor dengan metode dehidrasi menggunakan karbon aktif dari limbah kulit buah nipah sebagai penyimpan energi ramah lingkungan dengan berbagai keunggulan diantaranya menerapkan *green chemistry* serta dapat memenuhi energi di masa depan.

