

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi, pertumbuhan industri, dan meningkatnya penggunaan perangkat elektronik dalam berbagai aspek kehidupan. Kemajuan dalam teknologi digital, kendaraan listrik, sistem komunikasi, serta integrasi sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin telah mendorong kebutuhan akan teknologi penyimpanan energi yang efisien, andal, dan berkelanjutan. Sistem penyimpanan energi memainkan peran penting dalam memastikan kelangsungan pasokan energi, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung pemanfaatan sumber energi terbarukan. Teknologi penyimpanan energi tidak hanya dibutuhkan dalam skala besar seperti pada sistem kelistrikan dan transportasi tetapi juga pada perangkat elektronik portabel yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari¹.

Beragam teknologi penyimpanan energi telah dikembangkan dan diaplikasikan secara luas, di antaranya baterai, sel bahan bakar (*fuel cell*), kapasitor, dan superkapasitor. Masing-masing teknologi tersebut memiliki karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan yang berbeda. Baterai dikenal memiliki densitas energi yang tinggi, namun umumnya menunjukkan laju pengisian dan pelepasan energi yang relatif lambat serta umur siklus yang terbatas. Sebaliknya, kapasitor konvensional mampu memberikan daya dalam waktu yang sangat singkat, tetapi memiliki kemampuan penyimpanan energi yang rendah. Di antara berbagai teknologi tersebut, superkapasitor menjadi salah satu perangkat penyimpanan energi yang sangat menjanjikan karena memiliki densitas daya yang tinggi, waktu pengisian yang cepat, efisiensi energi yang baik, umur siklus yang panjang, serta stabilitas yang tinggi selama proses pengisian dan pengosongan. Kumar, et al. (2026) melaporkan bahwa sel superkapasitor yang menggunakan elektroda karbon aktif berbasis serbuk kayu subabul (*Leucaena leucocephala*) masih mampu mempertahankan sekitar 70% kapasitansi awal setelah menjalani 4.000 siklus pengisian pengosongan pada rapat arus 2 A/g². Karakteristik tersebut menjadikan superkapasitor sangat potensial untuk diterapkan pada berbagai bidang, seperti kendaraan listrik, perangkat elektronik portabel, sistem daya cadangan, dan teknologi penyimpanan energi dengan sumber energi terbarukan³.

Berbagai jenis bahan telah dikembangkan dan digunakan sebagai elektroda superkapasitor, termasuk oksida logam, polimer konduktif, dan bahan berbasis karbon. Di antara bahan-bahan tersebut, karbon aktif dari limbah biomassa merupakan salah satu pilihan yang paling banyak digunakan karena mudah ditemukan, mudah dipreparasi dan ramah lingkungan⁴. Salah satunya penelitian dari karbon aktif daun mangga (*Mangifera indica*) menghasilkan kapasitansi spesifik sebesar 521,65 F/g dan stabilitas siklus pengisian pengosongan 96,60%⁵.

Kulit buah kolang-kaling dipilih sebagai sumber karbon aktif karena memiliki kandungan selulosa (61,76%), hemiselulosa (71,78%) dan lignin (23,48%) sehingga

berpotensi digunakan sebagai material karbon aktif. Sintesis karbon aktif dapat dilakukan melalui metode dehidrasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4), pada perlakuan awal sebelum aktivasi yang bertujuan untuk menghilangkan molekul air serta mempercepat proses pembentukan kerangka karbon dari biomassa. Akibatnya, kandungan karbon relatif meningkat dan struktur awal biomassa diubah menjadi karbon yang lebih stabil untuk tahap karbonisasi selanjutnya⁶. Sampai saat ini belum terdapat laporan penelitian terbaru mengenai sintesis karbon aktif dari kulit buah kolang-kaling dengan menggunakan metode dehidrasi.

Metode aktivasi dapat dilakukan melalui aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi kimia sering digunakan karena memiliki prosedur yang relatif sederhana, waktu pengolahan lebih singkat, dan dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi⁷. Selain itu, penggunaan aktivator kimia tertentu dapat menghasilkan limbah yang relatif lebih sedikit, sehingga semakin mendukung keberlanjutan proses tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Nazhipkyzy, et al. (2022) menunjukkan bahwa serbuk gergaji kayu yang diaktivasi dengan KOH sebagai bahan elektroda superkapasitor menunjukkan karakteristik kapasitor lapisan ganda listrik (EDLC) yang sangat baik dalam elektrolit KOH 6 M⁸. Pemanfaatan karbon aktif yang berasal dari ampas tebu dengan aktivator dengan KOH oleh Rajivgandhi P, et al. (2025), menunjukkan stabilitas siklus pengisian pengosongan dengan retensi kapasitansi sebesar 93,89% hingga 10.000 siklus pengisian pengosongan⁹. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan KOH sebagai aktivator untuk sintesis karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

Peningkatan kemampuan elektronik karbon secara keseluruhan dapat dilakukan dengan metoda penyisipan unsur nitrogen. Kehadiran unsur nitrogen dalam matriks karbon dapat mempercepat transfer muatan, sehingga mengurangi resistansi internal elektroda dan meningkatkan kemampuan laju elektroda. Salah satu prekursor nitrogen yang banyak digunakan adalah urea, karena memiliki kandungan nitrogen yang sangat tinggi sekitar 46,65%, mudah larut baik dalam air maupun pelarut organik, serta tersedia melimpah dengan biaya yang relatif rendah. Selain itu, dalam rentang suhu tinggi 400-900°C, urea terurai secara bertahap dan berinteraksi dengan struktur karbon pada permukaan karbon aktif¹⁰.

Pada hasil penelitian Peng (2023) yang melakukan perbandingan beberapa sumber nitrogen yaitu NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, dan urea pada karbon aktif yang berasal dari serbuk sari kamelia. Hasilnya menunjukkan bahwa karbon dengan penambahan urea menunjukkan kinerja elektrokimia terbaik, dengan kapasitansi spesifik sebesar 300 F/g pada kepadatan arus 1 A/g dan kepadatan energi tertinggi sebesar 14,3 Wh/kg. Kinerja unggul ini dikaitkan dengan kandungan nitrogen yang lebih tinggi dalam urea dibandingkan dengan dua sumber nitrogen lainnya¹¹. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakanlah urea sebagai sumber atom nitrogen untuk meningkatkan konduktivitas dan *wettability* karbon aktif sehingga meningkatkan kinerja karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana proses sintesis dan karakterisasi karbon aktif dari limbah kulit buah kolang-kaling (*Arenga pinnata*) sehingga diperoleh material karbon aktif yang berpotensi digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor?
2. Bagaimanakah sifat-sifat elektrokimia dari karbon aktif dari limbah kulit buah kolang-kaling (*Arenga pinnata*) yang dihasilkan untuk digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi karbon aktif *N-doped* dari limbah kulit buah kolang-kaling (*Arenga pinnata*) sebagai bahan elektroda superkapasitor.
2. Menganalisis sifat-sifat elektrokimia dari karbon aktif dari limbah kulit buah kolang-kaling (*Arenga pinnata*) yang dihasilkan untuk digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor.

1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan alternatif pemanfaatan limbah kulit buah kolang-kaling sehingga memiliki nilai tambah yang lebih tinggi dan mendukung pengembangan *green technology* melalui penggunaan bahan baku yang terbarukan sebagai material penyimpanan energi serta menjadi dasar dalam pengembangan elektroda superkapasitor yang lebih ekonomis dengan memanfaatkan sumber daya yang melimpah di Indonesia.

