

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan transisi dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan, kebutuhan akan perangkat penyimpanan energi terus meningkat karena sifat intermiten dari beberapa sumber energi bersih, seperti tenaga angin dan tenaga surya. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi ini, diperlukan perangkat penyimpanan energi dengan performa tinggi, seperti superkapasitor dan baterai (Kongthong dkk., 2022). Namun, proses pengembangan perangkat penyimpanan tersebut memerlukan biaya yang cukup besar, sehingga teknologi yang lebih ekonomis perlu dikembangkan (Ozpinar dkk., 2022).

Superkapasitor adalah teknologi penyimpanan energi yang unik dan menjanjikan, memiliki kapasitas yang tinggi dalam penyimpanan dan pelepasan muatan listrik serta mampu mentransfer daya yang lebih besar dibandingkan dengan baterai konvensional. Berbeda dengan baterai konvensional yang umumnya memiliki masa pakai relatif pendek serta potensi bahaya operasional yang signifikan, superkapasitor secara progresif menjadi salah satu teknologi penyimpanan energi yang paling menjanjikan. Hal ini disebabkan oleh keunggulannya dalam menyediakan daya keluaran yang tinggi, umur operasional yang panjang, serta tingkat keandalan yang superior (Teng dkk., 2025). Kelebihan tersebut disebabkan oleh prinsip kerja superkapasitor yang khas serta dipengaruhi oleh jenis bahan yang digunakan pada elektrodanya. Porositas bahan menjadi salah satu kriteria utama dalam pemilihan material elektroda, karena luas permukaan efektif bahan tersebut berdampak langsung pada kinerja superkapasitor. Beberapa material yang sering digunakan untuk superkapasitor meliputi karbon aktif, karbon nanotube, graphene, polimer konduktif, oksida logam, dan lainnya (Ajay dkk., 2021). Elektroda memegang peran penting dalam pembuatan karbon aktif untuk superkapasitor. Berbagai bahan baku, seperti graphene oksida, polimer konduktif, logam oksida, dan karbon berbasis biomassa, dapat digunakan untuk menghasilkan elektroda berkinerja tinggi. Dibandingkan dengan bahan lainnya, karbon berbasis biomassa memiliki keunggulan berupa biaya yang lebih terjangkau, mudah diakses, dan tersedia dalam jumlah besar (Taer, Apriwandi, dkk., 2021). Karbon aktif dari biomassa mampu menyimpan energi melalui lapisan ganda listrik yang terbentuk di antarmuka elektroda karbon, serta memberikan kapasitansi spesifik yang tinggi berkat luas permukaan efektifnya yang besar (Febriyanto dkk., 2019).

Salah satu biomassa yang bisa dijadikan sebagai bahan karbon aktif adalah biomassa daun gamal (*Gliricidia sepium*) yang merupakan famili *fabaceae* (kacang-kacangan). Daun gamal sering dijadikan sebagai pagar di pinggir jalan, pakan ternak, kompos dan lain-lain. Berdasarkan hasil skrining fitokimia daun gamal memiliki kandungan flavonoid, saponin, dan tanin (Asjur dkk., 2024). Senyawa tersebut merupakan senyawa aktif sehingga berpotensi digunakan sebagai karbon aktif. Daun gamal memiliki kandungan hemiselulosa sekitar 25,60% dan lignin 8,60% (Fitriani dkk., 2018).

Sebelumnya, penelitian pembuatan karbon aktif dari famili *fabaceae* telah dilakukan. Penelitian yang menggunakan daun akasia (*Acacia mangium* Wild) dengan aktivasi KOH menghasilkan kapasitansi spesifik tertinggi diperoleh pada suhu aktivasi 900°C, yaitu sebesar 76 F.g⁻¹ (Natalia & Taer, 2019). Penelitian dengan biomassa daun turi (*sesbania grandiflora*) menggunakan KOH sebagai aktivasi kimia dan mendapatkan kapasitansi spesifik tertinggi 85 F.g⁻¹ (Phukhrongthung dkk., 2024). Penelitian terkait pembuatan elektroda superkapasitor berbasis biomassa khususnya dedaunan lainnya menunjukkan hasil yang menarik pada berbagai jenis bahan baku. Penelitian menggunakan daun jati dan 0,3 M KOH sebagai aktivasi kimianya mendapatkan kapasitansi spesifik 113,20 F.g⁻¹ (Taer, 2019). Penelitian dengan menggunakan limbah daun belimbing wuluh sebagai sumber karbon biomassa (Taer, Nursyafni, dkk., 2021). Hasil yang diperoleh yaitu nilai kapasitansi spesifik tertinggi sebesar 149.04 F.g⁻¹ pada rapat arus konstan 1.0 A/g dan KOH sebagai aktivator kimianya. Penelitian menggunakan kulit pomelo dengan doping nitrogen menghasilkan kapasitansi tertinggi 325 F.g⁻¹ dan KOH sebagai aktivatornya (Chen dkk., 2021).

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini memanfaatkan daun gamal sebagai elektroda karbon untuk sel superkapasitor dengan aktivator elektrokimia 0,3 M KOH dan karbonisasi dengan gas N₂ pada suhu 800°C, 850°C, dan 900°C.

2.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini yaitu

1. Menganalisis nilai kapasitansi karbon aktif daun gamal sebagai material aktif elektroda superkapasitor melalui proses aktivasi kimia menggunakan larutan KOH 0,3 M.
2. Mengkarakterisasi karbon aktif hasil proses dengan menggunakan teknik FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-ray Diffraction*), dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk menentukan struktur, morfologi, dan sifat kimianya.

2.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu:

1. Memberikan kontribusi pada pengembangan material berbasis biomassa yang ramah lingkungan untuk aplikasi energi terbarukan, khususnya pada elektroda superkapasitor.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 hingga Januari 2025. Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Material dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Blender
2. Ayakan 200 mesh
3. *Ball milling*
4. *Magnetic stirrer*
5. Magnet
6. *Oven*
7. Mortar
8. Kertas pasir P1200
9. Kertas saring
10. Jangka sorong digital
11. Timbangan digital
12. Teflon
13. *Stainless steel*
14. Sendok
15. Pinset
16. *Physics CV UR Rad-Er 5841.*
17. *Hidraulic press*

2.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Daun gamal (di ambil dari Kabupaten Tana Toraja)
2. Kalium Hidroksida (KOH)
3. Aquades
4. Larutan H_2SO_4
5. Membran telur itik
6. HCL

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pembuatan Sampel Karbon Aktif Daun Gamal

1. Pra-Karbonisasi Daun Gamal

Sebanyak 400 g daun gamal dikumpulkan sebagai sampel, kemudian dibersihkan dan dikeringkan dengan cara dijemur. Setelah kering, daun gamal ditimbang sesuai dengan massa yang telah ditentukan, kemudian biomassa dicuci secara bertahap menggunakan akuades. Setelah melalui proses pembersihan, kemudian dibagi menjadi masing-masing massa 40 gram. Setiap bagian menjalani proses pra-karbonisasi pada suhu 250°C selama 1 jam. Setelah proses pra-karbonisasi selesai, sampel ditimbang kembali untuk mengetahui persentase penyusutan yang terjadi. Hasil dari proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

2. Penggilingan dengan Blender

Setelah proses pra-karbonisasi pada suhu 250°C selama 1 jam, sampel dikeluarkan dari oven dan didinginkan. Selanjutnya, sampel dihancurkan menggunakan blender dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Hasil ayakan tersebut kemudian dihaluskan kembali menggunakan blender hingga mencapai ukuran 200 mesh. Setelah diperoleh serbuk halus dengan ukuran yang diinginkan, sampel disiapkan untuk menjalani proses aktivasi fisika.

3. Proses Aktivasi Daun Gamal

Aktivasi Kimia pada karbon daun gamal menggunakan larutan KOH sebagai aktivator dengan konsentrasi 0,3 M. Untuk menghitung massa KOH dapat digunakan persamaan:

$$\text{Massa KOH (g)} = \text{Molaritas} \left(\frac{\text{mol}}{\text{l}} \right) \times \text{Volume Aquades (l)} \times \text{Mr KOH} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \quad (1)$$

Larutkan KOH 2,52 g dengan aquades selama 1 jam dengan cara diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 80°C dan kecepatan 400 rpm. Kemudian tambahkan sampel daun gamal sebanyak 30-gram dengan kecepatan 800 rpm selama 2 jam sampai homogen. Setelah proses aktivasi, sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 75°C hingga 80°C selama 8 jam. Selanjutnya sampel dihaluskan menggunakan mortar dan disaring dengan ayakan 200 mesh. Sampel kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan FTIR.

4. Pembuatan Pelet Elektroda Superkapasitor

Sampel karbon aktif yang telah diaktivasi kimia, kemudian ditimbang sebanyak 0,7 gram, dicetak menjadi pelet berbentuk silinder menggunakan press hidrolik pada bermassa 8 ton atau setara dengan 80,64016 kPa dan ditahan selama 5 menit. Pelet yang telah jadi kemudian ditimbang massa dan diukur diameter serta ketebalan menggunakan jangka sorong digital.

2.3.2 Karbonisasi Pelet dan Aktivasi Fisika

Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan yang dilakukan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau oksigen. Proses pirolisis diawali dengan tahap

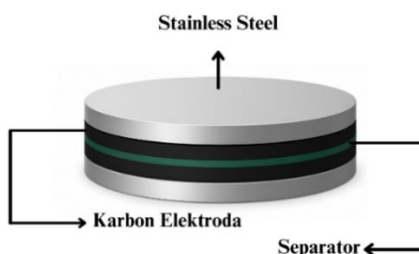
karbonisasi menggunakan tungku pemanas pada suhu 800°C, 850°C, 900°C dalam atmosfer gas nitrogen (N_2) selama satu jam. Setelah proses tersebut, pelet didinginkan hingga mencapai suhu ruangan, kemudian dipoles menggunakan kertas amplas jenis P1200 untuk memperoleh ketebalan $\pm 0,2$ mm dan diameter ± 8 mm. Pelet yang telah dipoles tersebut dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor dan diuji menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV). Selain itu, sampel juga akan dianalisis menggunakan teknik XRD, FTIR dan SEM.

2.3.3 Pembuatan Separator Superkapasitor

Pembuatan separator menggunakan 1 butir telur itik. Terlebih dulu telur itik dibersihkan dari kotoran dengan aquades selanjutnya dipecahkan dan dibuang isinya, cangkang telur itik dimasukkan kedalam gelas beker dan diisi aquades hingga cangkang tenggelam, teteskan larutan HCL 1M ke dalam *beaker* 10 hingga 15 tetes, kemudian diaduk, diamkan selama kurang lebih 1 hari hingga terlihat membrane telur itik terlepas dari cangkangnya. Membran telur yang telah terpisah lalu dicuci dengan aquades hingga pH menjadi netral. Ambil membran itik yang telah terkelupas, kemudian potong sesuai ukuran sel superkapasitor.

2.3.4 Pembuatan Sel Superkapasitor

Pembuatan sel superkapasitor dilakukan di laboratorium Fisika Material Universitas Riau menggunakan elektroda berbahan karbon aktif dari daun gamal, stainless steel sebagai pengumpul arus, membran kulit telur itik sebagai separator, dan larutan elektrolit H_2SO_4 . Dalam prosesnya, elektroda dari karbon aktif daun gamal direndam dalam larutan H_2SO_4 1 M selama 2 x 24 jam. Setelah perendaman, elektroda diangkat menggunakan spatula dan ditempatkan di atas *stainless steel* yang telah dibentuk sesuai ukuran elektroda. Proses ini dilakukan dua kali untuk memperoleh kapasitor lapisan ganda listrik. Di antara kedua elektroda, diletakkan separator membran dari kulit telur itik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Setelah semua komponen tersusun, sel superkapasitor kemudian dijepit menggunakan penjepit kertas untuk memastikan kestabilannya.



Gambar 1. Sel elektroda superkapasitor

2.3.5 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui sifat struktural, kimia, morfologi, fisik, dan elektrokimia dari karbon aktif yang disintesis, yang keseluruhannya berkontribusi terhadap performa elektroda, khususnya dalam hal kapasitansi

spesifik. Tahap awal karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi struktur kristal karbon aktif sebelum dan sesudah karbonisasi. Teknik ini digunakan untuk menentukan tingkat kristalinitas material. Struktur kristal yang lebih tidak teratur umumnya berkorelasi dengan luas permukaan yang lebih tinggi yaitu dapat meningkatkan kemampuan penyimpanan muatan. Dengan demikian, analisis XRD memberikan landasan awal dalam menilai potensi kapasitansi spesifik elektroda.

Selanjutnya, karakterisasi dilakukan terhadap komposisi kimia permukaan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Pengujian dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah karbonisasi untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi seperti hidroksil, karbonil, dan karboksilat. Gugus-gugus fungsi ini penting karena dapat berinteraksi dengan ion elektrolit melalui reaksi redoks semu (*pseudocapacitance*), yang merupakan salah satu mekanisme utama dalam penyimpanan muatan. Oleh karena itu, data FTIR digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana sifat kimia permukaan mendukung peningkatan kapasitansi spesifik.

Karakterisasi morfologi permukaan dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) terhadap sampel karbon aktif setelah karbonisasi. Teknik ini digunakan untuk mengamati struktur pori yang berperan penting dalam menentukan luas permukaan spesifik material. Pori-pori dengan distribusi dan ukuran yang sesuai dapat memperbesar area kontak antara elektroda dan elektrolit, sehingga meningkatkan jumlah muatan yang dapat disimpan. Oleh karena itu, data SEM secara langsung berkontribusi dalam menilai aspek fisik yang relevan terhadap kapasitansi spesifik.

Kemudian dilakukan pengukuran massa jenis elektroda, yang mencakup pengukuran diameter menggunakan jangka sorong digital dan massa menggunakan timbangan digital presisi. Data ini diperlukan untuk menghitung kerapatan dan massa total elektroda yang digunakan dalam pengujian elektrokimia. Karena kapasitansi spesifik didefinisikan sebagai kapasitansi per satuan massa elektroda, maka akurasi dalam pengukuran massa dan diameter menjadi krusial dalam memperoleh nilai kapasitansi yang valid.

Akhirnya, untuk mengevaluasi sifat elektrokimia secara langsung, dilakukan pengujian menggunakan metode *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan perangkat Physics CV UR Rad-ER 5841. Teknik ini digunakan untuk mengukur respons arus elektroda terhadap perubahan tegangan, sehingga memungkinkan perhitungan kapasitansi spesifik (C_{sp}) berdasarkan arus pengisian (I_c) dan pengosongan (I_d), sesuai dengan Persamaan (2):

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{S \cdot m} \quad (2)$$

Keterangan:

C_{sp} = Kapasitansi spesifik ($F \cdot g^{-1}$)

I_c = arus pada saat *charge* (A)

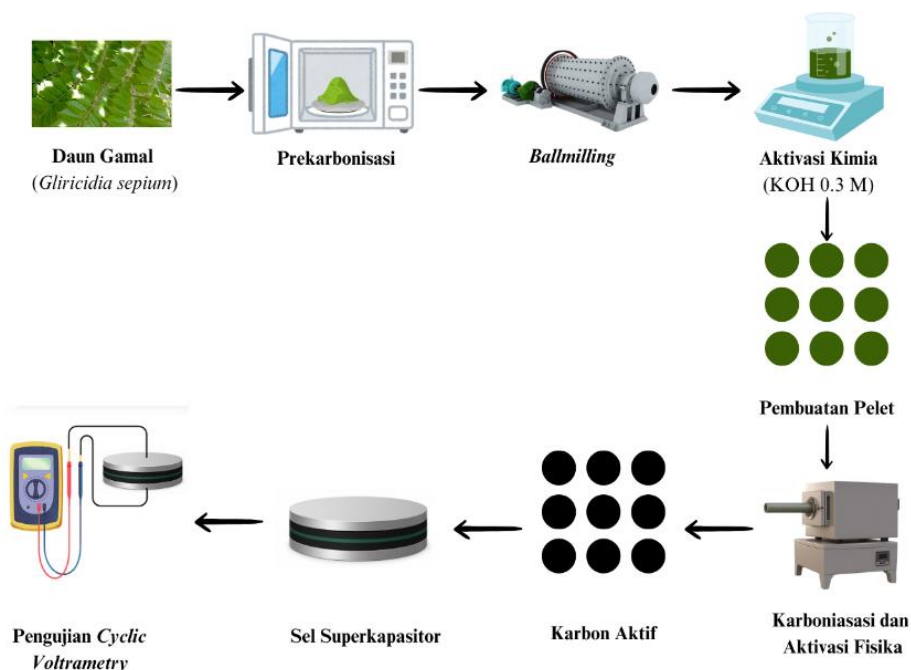
I_d = arus pada saat *discharge* (A)

S = Laju *scan* (V/s)

m = Massa elektroda (g)

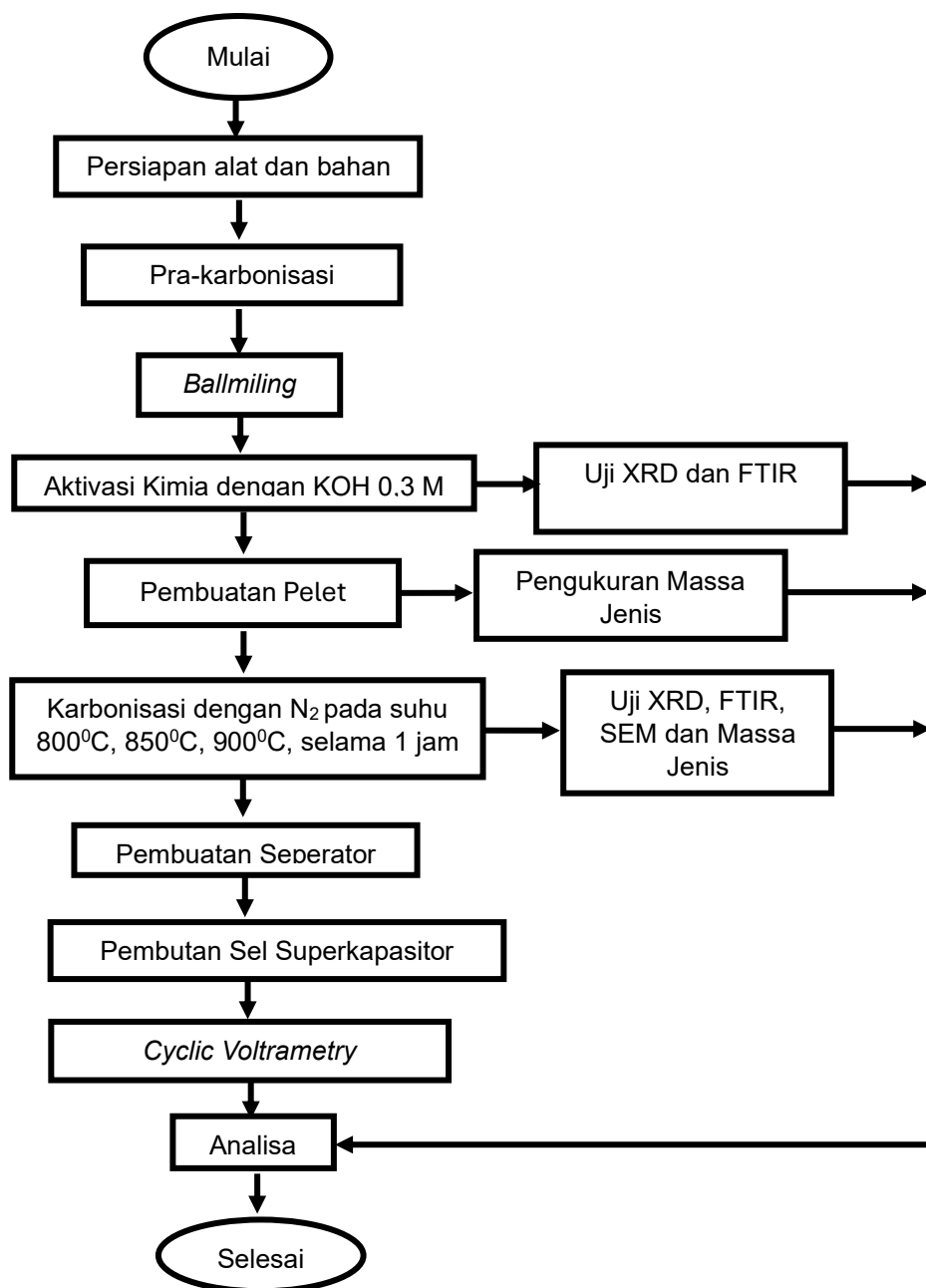
2.3.6 Diagram prosedur penelitian

Diagram prosedur menunjukkan tahapan pra-karbonisasi menggunakan oven, aktivasi kimia dengan KOH sebagai aktivator, pembentukan pelet dengan mesin hidrolik press, serta proses karbonisasi dan aktivasi fisika menggunakan tanur hingga menghasilkan karbon. Selanjutnya, karbon yang diperoleh digunakan dalam pembuatan sel superkapasitor, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram prosedur penelitian

2.3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian