

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan berkelanjutan dalam konsumsi energi serta dampak negatif bahan bakar fosil terhadap lingkungan telah mendorong upaya untuk mengembangkan perangkat dan sistem penyimpanan energi yang ramah lingkungan dan terbarukan (Y. Zhang dkk., 2024). Penyimpanan energi berperan penting dalam mengatasi sifat tidak stabil dari pembangkit energi terbarukan, sekaligus menjamin persediaan daya yang stabil. Metode penyimpanan energi tradisional seperti baterai dan kapasitor, telah berfungsi dengan baik dalam berbagai pengaplikasiannya. Namun metode ini memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan pengisian daya, kepadatan energi dan masa pakai (Dar dkk., 2024). Dalam teknologi penyimpanan energi, kapasitor memiliki daya spesifik yang tinggi namun energi spesifiknya rendah, sedangkan baterai memiliki energi spesifik yang tinggi namun daya spesifiknya rendah (Sahani dkk., 2024). Penelitian tentang teknologi penyimpanan dan konversi energi telah menghasilkan terobosan dan kemajuan besar akhir-akhir ini (Sun dkk., 2024).

Superkapasitor memiliki potensi besar dalam penyimpanan energi karena memiliki kapasitas daya besar, mampu mengisi dan melepaskan energi dengan cepat, memiliki ketahanan penggunaan yang tinggi, serta lebih ramah lingkungan dibandingkan baterai konvensional. (Dar dkk., 2024; Sun dkk., 2024). Superkapasitor terbagi menjadi dua jenis, yaitu kapasitor lapisan ganda elektrik dan pseudokapasitor. Pada kapasitor lapisan ganda elektrik, kapasitansi yang tinggi dihasilkan karena energi disimpan melalui pembentukan lapisan ganda antara elektroda dan elektrolit. Material karbon fungsional seperti karbon aktif, arang, tabung nano karbon, dan grafena sering digunakan sebagai bahan elektrodanya. Sementara itu, pada pseudokapasitor, penyimpanan energi terjadi melalui reaksi oksidasi-reduksi, dan umumnya bahan elektroda yang digunakan adalah logam/oksida logam serta polimer konduktif (Srinivasan dkk., 2019). Dalam beberapa tahun terakhir, bahan elektroda berbasis karbon telah menjadi pilihan yang menjanjikan untuk superkapasitor. Hal ini disebabkan oleh tingginya luas permukaan spesifik, stabilitas sifat fisik dan kimia, kemampuan untuk mengatur distribusi ukuran pori, serta konduktivitas listrik yang sangat baik (Sun dkk., 2024).

Karbon aktif banyak digunakan sebagai bahan elektroda dalam perangkat superkapasitor. Karena karbon aktif memiliki beberapa keunggulan, seperti harga yang terjangkau, memiliki luas permukaan yang luas, mudah ditemukan secara komersial, proses pengolahan yang sederhana, porositas yang besar, dan teknologi pembuatannya yang banyak digunakan (Armynah dkk., 2024). Membuat karbon aktif yang berbahan dasar dari limbah lingkungan menjadi salah satu upaya dalam mengurangi polusi lingkungan, terutama mengurangi kontaminasi gas dan cairan (Srinivasan dkk., 2019). Beberapa tahun terakhir, penelitian telah meningkat pada berbagai bahan, terutama dalam penggunaan limbah bio massa yang dapat diperbaharui seperti, Biji glodokan tiang, memiliki kapasitansi spesifik 365 F/g pada 1 A/g, retensi kapasitansi 92% setelah 5000 siklus, serta densitas energi 27,5 Wh/kg dan densitas daya 499 W/kg (Srinivasan dkk., 2019). Daun teh, memiliki kapasitansi spesifik 302,0 F/g pada 0,5 A/g, serta densitas energi 41,9 Wh/kg dan densitas daya 250 W/kg (Inayat dkk. 2023). Daun *syzygium olean*, memiliki luas permukaan spesifik 216 m²/g sebelum aktivasi dan

meningkat menjadi 1218 m²/g setelah aktivasi, dengan kapasitansi spesifik 188 F/g dalam sistem dua-elektroda pada scan rate 1 mV/s (Taer dkk. 2020). serta lain sebagainya yang dapat diekstraksi menjadi bahan karbon aktif untuk digunakan dalam kapasitor lapisan ganda elektrik.

Hedge & Bhat, 2024 dalam penelitiannya menganalisis limbah daun *Mangifera indica* sebagai bahan karbon aktif untuk elektroda superkapasitor. Karbon aktif yang dihasilkan pada suhu 725°C memiliki kapasitansi spesifik 521,65 F/g dan energi 17,04 Wh/kg pada densitas daya 242,50 W/kg, dengan stabilitas siklus mencapai 96,60% setelah 10.001 siklus. Dengan luas permukaan yang tinggi (1232,63 m²/g) dan pori-pori yang merata, berpotensi sebagai bahan penyimpanan energi yang ramah lingkungan (Hegde & Bhat, 2024). Rajivgandhi P dkk. 2024 menganalisis biomassa *Cassia fistula* untuk bahan karbon aktif superkapasitor. Menunjukkan kapasitansi 136,5 F/g dan stabilitas tinggi setelah 10.000 siklus, mencapai densitas energi 7,2 Wh/kg dan daya 3488,1 W/kg (Rajivgandhi dkk., 2024). Li Y dkk. 2023 menganalisis tentang limbah biomassa dengan kapasitansi spesifik 535 F/g pada densitas arus 1 A/g dan retensi kapasitansi 62,8% (Li & Qi, 2023). Zhang D dkk. 2023 menganalisis tentang limbah residu *Phragmites australis*, memperoleh luas permukaan 2074,72 m²/g dan kapasitansi 228 F/g pada densitas arus 1 A/g dalam KOH 6M serta mempertahankan 98,1% kapasitansi setelah 8000 siklus pada densitas arus 5,0 A/g di suhu 600°C (D. Zhang dkk., 2023).

Polyalthia longifolia L. atau yang biasa disebut daun glodokan tiang umumnya berasal dari India dan Sri Lanka, tetapi juga banyak ditanam di beberapa wilayah Indonesia dan Kepulauan Karibia. Glodokan tiang sering digunakan sebagai pohon hias di berbagai perumahan dan area kampus. Pohon ini memiliki ukuran kecil hingga sedang, tumbuh tinggi dan lurus hingga mencapai ketinggian 15 m. Namun, *polyalthia longifolia* L. tidak menghasilkan produk pertanian, sehingga daunnya yang berjatuhan dianggap sebagai limbah. Limbah daun ini biasanya dibakar di udara terbuka yang berdampak negatif terhadap lingkungan (Ahmed dkk., 2020). Srinivasan dkk. 2019 dalam penelitiannya tentang biji *polyalthia longifolia* L. sebagai bahan superkapasitor. Dimana hasil penelitiannya menunjukkan bahwa karbon aktif dari biji *Polyalthia longifolia* L. melalui aktivasi KOH pada suhu optimal 900°C menghasilkan luas permukaan BET (*Brunaeuer Emmett teller*) 664,4 m²/g dengan pori mikro-mesopori tinggi. Bahan *polyalthia longifolia* L. karbon aktif diuji sebagai elektroda superkapasitor, menghasilkan densitas energi 27,5 Wh/kg pada densitas daya 499 W/kg. Dengan demikian, bahan tersebut memiliki potensi besar untuk aplikasi penyimpanan energi terjangkau dan ramah lingkungan (Srinivasan dkk., 2019). O.B. dkk. 2014 yang menganalisis komposisi proksimat daun *Polyalthia longifolia* L. menunjukkan bahwa kadar abu dari daun tersebut sebanyak 5,05%, kadar air sebanyak 8,70%, protein kasar sebanyak 10,05%, lemak dan serat kasar masing-masing sebanyak 0,26 % dan 18,50 % (Ojewuyi, 2014), serta karbohidrat sebanyak 57,44 % (Bisht dkk., 2022; Ojewuyi, 2014).

Berdasarkan uraian tersebut, daun *polyalthia longifolia* L. berpotensi dikembangkan sebagai bahan karbon aktif untuk sel superkapasitor. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan limbah biomassa daun *polyalthia longifolia* L. sebagai bahan karbon aktif untuk pembuatan elektroda dari sel superkapasitor dengan variasi temperatur karbonisasi.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian dari penelitian ini yaitu:

1. Karakteristik fisik dan kimia karbon aktif yang dihasilkan dari daun glodokan tiang.
2. Menganalisis pengaruh variasi suhu aktivasi fisika CO₂ terhadap nilai kapasitansi spesifik.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini untuk mengembangkan daun glodokan tiang sebagai bahan baku lokal untuk elektroda karbon dalam sel superkapasitor, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan dan keberlanjutan sumber daya alam. Selain itu, manfaat penelitian ini untuk menganalisis sifat fisik dan kimia karbon aktif yang dihasilkan serta mengevaluasi pengaruh variasi suhu aktivasi CO₂ terhadap nilai kapasitansi spesifik.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai Oktober 2023 sampai November 2024. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material dan Energi, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

2.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yakni:

1. *Magnetic stirrer*
2. Blender
3. *Ballmilling*
4. Mortar
5. Timbangan digital
6. Oven
7. Jangka sorong digital
8. Kertas pasir P1200
9. Kertas saring *Whatman 42*
10. Ayakan 200 mesh dan 400 mesh
11. *Stainless steel*
12. Gelas kimia
13. Tabung ukur
14. Corong
15. Kertas pH
16. Cawan petri
17. Spatula
18. Teflon
19. Pinset
20. Batang pengaduk
21. Hidrolik Press
22. *Furnace*
23. Thermogravimetric (TG) dan *Differential Thermogravimetry* (DTG)
24. *Fourier Transform Infrared* (FT-IR)
25. *X-Ray Diffraction* (XRD)

2.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yakni:

1. Akuades
2. Daun Glodokan Tiang

3. Aktivator Kalium Hidroksida (KOH)
4. Asam Klorida (HCL)
5. Membran kulit telur bebek
6. Larutan H₂SO₄

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pembuatan Sampel Karbon Aktif

A. Persiapan Sampel dan Pra-Karbonisasi Daun Glodokan Tiang

Proses pra-karbonisasi adalah tahap awal dalam membuat elektroda karbon aktif sel superkapasitor. Daun glodokan tiang yang sudah kering dipisahkan dari tulang daunnya dan dipotong-potong menjadi potongan kecil. Daun ditimbang menggunakan timbangan digital terlebih dahulu dengan massa yang sudah ditentukan lalu kemudian dibersihkan menggunakan akuades secara bertahap. Massa sampel daun yang telah dibersihkan dan digunakan sebanyak 400 g dan kemudian akan dibagi menjadi 40 g untuk setiap proses pra-karbonisasi, yang akan dilakukan pada suhu 250°C selama 1 jam. Setelah proses pra-karbonisasi selesai sampel ditimbang kembali untuk mengetahui proses penyusutan yang terjadi pada sampel dan didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Penggilingan Sampel

Setelah proses pra-karbonisasi, sampel kemudian dihancurkan menggunakan blender dan diayak dengan menggunakan ayakan 200 *mesh* untuk mendapatkan sampel yang lebih halus. Selanjutnya yaitu, sampel digiling menggunakan *ballmilling* selama ± 24 jam hingga menjadi bubuk daun glodokan tiang yang lebih halus. Bubuk daun glodokan tiang kemudian diayak kembali menggunakan ayakan 400 *mesh*. Kemudian bubuk sampel sebanyak 5 g diuji menggunakan alat *Thermogravimetric* (TG) dan *Differential Thermogravimetry* (DTG). Pengujian ini berfungsi untuk menganalisis perubahan massa suatu material sebagai fungsi dari suhu atau waktu saat sampel dipanaskan, didinginkan, atau dipertahankan pada suhu tertentu dalam atmosfer tertentu.

C. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia pada serbuk daun glodokan tiang menggunakan KOH sebagai aktivator dengan konsentrasi 0,3 M. Persamaan yang digunakan untuk menghitung massa KOH menggunakan persamaan 1:

$$m = M \times V_a \times Mr \quad (1)$$

Dimana m adalah massa KOH (gr), M adalah molaritas (mol/L), V_a adalah volume akuades (L), dan Mr adalah massa molekul relatif (gr/mol).

Proses aktivasi kimia dimulai dengan melarutkan 2,52 gr KOH dalam 0,15 L akuades untuk konsentrasi 0,3 M. Larutan ini diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C selama 1 jam dengan kecepatan 400 rpm. Bubuk sampel daun glodokan tiang sebanyak 30 g ditambahkan secara perlahan ke dalam larutan KOH agar tercampur merata, pengadukan dilanjutkan dengan suhu yang sama selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 800 rpm. Setelah selesai, sampel didiamkan hingga mencapai suhu ruang dan dinetralkan hingga pH normal. Kemudian, sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 75°C hingga 90°C selama 24 jam. Setelah kering, sampel kemudian dihaluskan menggunakan mortal dan diayak menggunakan ayakan 200 *mesh* untuk mendapatkan ukuran partikel yang homogen. Selanjutnya, sampel

dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal yang dihasilkan dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk.

D. Pencetakan Pelet

Sampel bubuk karbon yang telah diaktivasi ditimbang dengan massa 0,7 g dan di cetak menjadi pelet dengan pemberian tekanan sebesar 80,64016 kPa atau setara dengan massa 8 ton selama 5 menit menggunakan *hidrolik press*. Pemberian tekanan bertujuan untuk menghasilkan pelet yang padat, kuat, dan tidak mudah pecah. Total hasil pencetakan sebanyak 120 pelet yang akan dikelompokkan menjadi 3 kelompok berdasarkan suhu yang digunakan, yaitu 750°C, 800°C dan 850°C.

2.3.2 Karbonisasi dan Aktivasi Fisika (Pirolisis)

Pirolisis merupakan tahap dekomposisi bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara. Proses pirolisis dimulai dengan tahap karbonisasi menggunakan tanur pada suhu 600°C dalam gas N₂ selama 1 jam, bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan selain karbon. Tahap berikutnya adalah aktivasi fisika dengan gas CO₂ pada suhu 750°C, 800°C dan 850°C selama 1 jam. Setelah itu, pelet dibiarkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian dipoles di atas kertas pasir P1200 untuk mendapatkan ketebalan ± 0,2 mm dan diameter ± 8 mm. Pelet yang telah dipoles dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor untuk diuji dengan *Cyclic Voltammetry* (CV). Sampel juga akan dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR).

2.3.3 Pembuatan Separator Superkapasitor

Pembuatan separator superkapasitor dapat dilakukan dengan memanfaatkan membran yang terdapat pada kulit telur itik. Kulit telur itik dibersihkan menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Selanjutnya, membran yang melekat dipisahkan dari kulit telur dengan merendam kulit telur dalam larutan 1 M HCl yang bertujuan untuk melarutkan CaCO₃ pada kulit telur sehingga membran dapat terlepas. Membran kemudian dicuci dengan akuades hingga pH membran menjadi netral. Setelah itu, rendam membran telur dalam larutan 1 M H₂SO₄ selama 2 x 24 jam dan separator siap untuk digunakan.

2.3.4 Pembuatan Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor disusun dari dua elektroda, dua pengumpul arus, pemisah (separator) dan larutan elektrolit. Pembuatan sel superkapasitor menggunakan bahan diantaranya karbon aktif dari daun glodokan tiang sebagai elektroda, *stainless steel* sebagai pengumpul arus, membran kulit telur bebek sebagai separator dan H₂SO₄ sebagai larutan elektrolit dan juga menggunakan teflon.

Stainless steel dibentuk sesuai dengan ukuran diameter elektroda, lalu dibersihkan menggunakan akuades dan dibiarkan hingga kering. Sebelum digunakan, elektroda karbon direndam dalam larutan H₂SO₄ 1 M selama 2 x 24 jam. Setelah itu, elektroda karbon diangkat dengan spatula dan diletakkan dengan hati-hati di atas *stainless steel*. Kemudian, separator ditempatkan di atas elektroda karbon. Proses ini dilakukan dua kali untuk mendapatkan penyangga kedua. Setelah kedua penyangga terbentuk, keduanya ditempelkan satu sama lain. Posisi kedua penyangga diperkuat

dengan penjepit agar elektroda karbon dan ion dapat bersentuhan dengan permukaan stainless steel.

2.3.5 Karakterisasi Sampel

Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal yang terbentuk dari karbon aktif yang telah dibuat. Analisis massa jenis dilakukan dengan mengukur diameter dan tebal elektroda karbon menggunakan jangka sorong, sedangkan untuk pengukuran massa menggunakan timbangan digital. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk. *Physics Cyclic Voltammetry* (CV) UR *Rad-Er 5841* digunakan untuk mengetahui performa yang dihasilkan dari elektroda sel superkapasitor. Data arus, potensial, dan waktu yang diperoleh dari sel superkapasitor kemudian digunakan untuk menghitung kapasitansi spesifik berdasarkan persamaan 2:

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

Dengan:

C_{sp} = Kapasitansi spesifik (F/g)

I_c = Arus charge (A)

I_d = arus discharge (A)

S = laju scan (V/s)

m = massa total karbon (g)

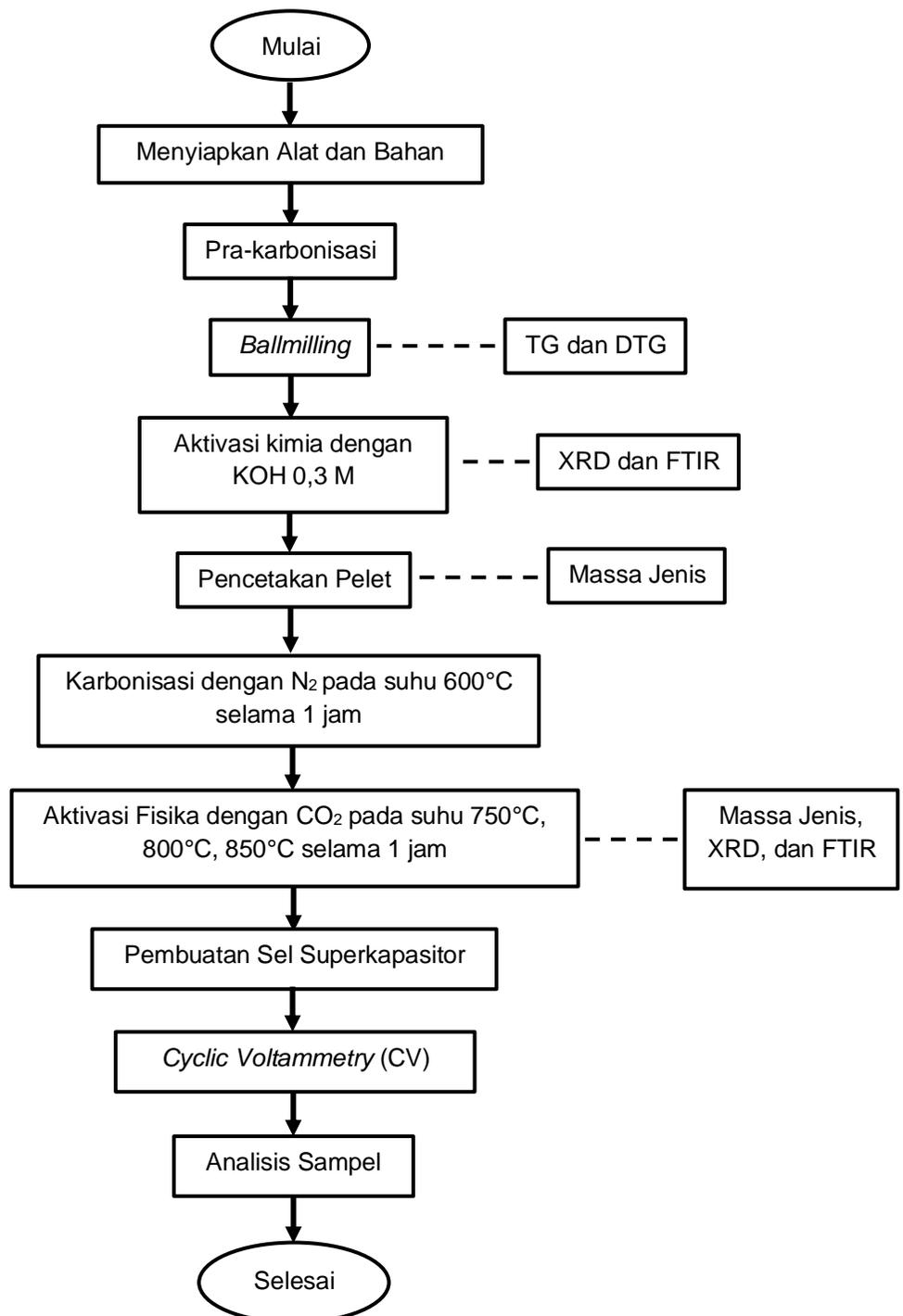
2.4 Diagram Prosedur Penelitian

Pada diagram dijelaskan mengenai pra-karbonisasi menggunakan oven, dihaluskan menggunakan blender dan mortal, kemudian diayak untuk mendapatkan bubuk daun glodokan tiang dan digiling menggunakan *ball milling* sehingga bubuk daun lglodokan tiang lebih halus, aktivasi kimia dengan menggunakan KOH sebagai aktivator, kemudian pencetakan pelet menggunakan *hidrolik press*, proses pirolisis dan aktivasi fisika menggunakan tanur sehingga menjadi karbon aktif dan pembuatan sel superkapasitor seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Prosedur Penelitian

2.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian