

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan cepat dalam industri dan teknologi berperan besar dalam mengubah kehidupan sosial masyarakat global. Hal ini telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam penggunaan *smartphone*, *tablet*, *laptop* dan kamera berkualitas tinggi. Akibatnya, konsumsi energi meningkat, dan dampak negatif terhadap lingkungan juga semakin nyata (Desmagrini dkk., 2021).

Seiring pertumbuhan industri, kebutuhan akan energi juga semakin meningkat. Listrik kini telah menjadi bagian penting dalam gaya hidup manusia. Meskipun demikian, pemahaman akan menipisnya sumber daya fosil dan efek yang kita timbulkan terhadap lingkungan mendorong kita untuk merubah kebiasaan konsumsi, terutama dengan mengurangi emisi karbon dioksida. Energi terbarukan ini menciptakan sejumlah listrik dengan variasi yang berbeda dan sulit diprediksi. Penetrasi yang luas ini dilakukan sebagai cara untuk menghemat energi. Salah satu faktor utama yang telah mendorong kemajuan pesat dalam sistem elektrokimia adalah pengembangan dua perangkat penting, yaitu baterai dan superkapasitor (Said dkk., 2023).

Superkapasitor adalah alat penyimpanan energi yang mirip dengan baterai, akan tetapi baterai memiliki beberapa kelemahan, seperti panas cepat, siklus hidup yang pendek, dan waktu pengisian yang lebih lama. Sebaliknya, superkapasitor memiliki banyak daya dan kepadatan energi, dan mereka mengisi lebih cepat dan lebih cepat daripada baterai (Farma dkk., 2023). Adapun definisi *electrochemical supercapacitors* (ECSCs) yang diusulkan oleh B.E. Conway, diterima secara umum. Menurut definisi ini, Superkapasitor memiliki kepadatan energi yang lebih tinggi daripada kapasitor biasa tetapi lebih rendah dari baterai sehingga berada di antara kapasitor konvensional dan baterai isi ulang. Berdasarkan bahan elektroda dan mekanisme penyimpanan muatan, superkapasitor selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga kategori, kapasitor lapisan ganda elektrokimia (EDLC), pseudokapasitor dan Kapasitor hibrida. EDLC menyimpan muatan dengan proses nonfaradaik seperti adsorpsi ion elektrolit pada permukaan bahan elektroda sedangkan kapasitor semu melibatkan proses faradaik reaksi redoks (Ahmed dkk., 2025). Ukuran ion terhidrasi karena adanya ketebalan EDL yang lebih kecil untuk elektrolit berair dibandingkan dengan ukuran ion terlarut untuk elektrolit nonberair. Akibatnya, nilai kapasitansi lebih tinggi untuk elektrolit berair. Nilai terukur dari kapasitansi spesifik elektroda karbon masing-masing 75 hingga 200 dan 40 hingga 100 F/g untuk elektrolit berair dan non-berair. Perbedaan ini disebabkan oleh fitur struktur berpori bahan karbon, bagian utama luas permukaan disediakan oleh pori-pori mikro, yang sebagian tidak tersedia untuk ion besar (Volfkovich, 2024).

Dalam pembuatan superkapasitor menggunakan bahan karbon yang memiliki kandungan kimia. Limbah terbarukan seperti biomassa dapat digunakan sebagai bahan awal karena mengurangi biaya bahan baku dan mengurangi resiko pengelolaan limbah padat. Penggunaan biomassa merupakan bahan karbon yang efisien karena bahan ini dapat di daur ulang, ramah lingkungan dan tersedia secara luas. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara. Karbon ini dapat dibuat dari bahan biomassa atau limbah, yang merupakan bahan baku alternatif yang

mudah di ditemukan (Farma dkk., 2023). Karbon aktif adalah bahan yang paling banyak digunakan untuk elektroda superkapasitor, karena karbon aktif memiliki biaya yang lebih murah, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan daya listrik yang baik. Karbon aktif diproduksi biasanya melalui dua tahap dimana yang pertama proses pembakaran bahan baku pada suhu rendah, diikuti oleh aktivasi pada suhu lebih tinggi (Taer, Taslim, dkk., 2019).

Saat ini, berbagai penelitian menggunakan biomassa khususnya daun untuk pembuatan elektroda superkapasitor. Seperti penggunaan daun kurma sebagai bahan karbon superkapasitor dengan menggunakan elektrolit H_2SO_4 0,1 M dan menghasilkan nilai kapasitansi tertinggi yaitu 107 F/g (Mahfoz dkk., 2022). Penggunaan biomassa daun pucuk merah (*Syzygium oleana*) sebagai bahan karbon superkapasitor dengan aktivasi KOH dan variasi suhu 500°C, 600°C dan 700 °C. Adapun hasil nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan 188 F/g pada laju scan 1 V/s (Taer dkk., 2020). Penggunaan biomassa dari bunga tridax sebagai bahan karbon sel superkapasitor dengan larutan elektrolit H_2SO_4 , bahan ini menunjukkan penyimpanan muatan melalui muatan elektron statis non-faradik pada antarmuka elektroda elektrolit. Kurva pengisian dan pengosongan mengkonfirmasi perilaku material dengan kapasitansi spesifik 168 F/g pada kerapatan arus 0,5 A.g⁻¹ (Wiston & Ashok, 2021).

Salah satu biomassa yang bisa dijadikan sebagai bahan karbon aktif adalah biomassa daun Prasman (*Eupatorium triplinerve. Vahl*). Biomassa ini sering dijadikan masyarakat sebagai pengganti pagar yang dipangkas sebaik mungkin. Adapun daun prasman (*Eupatorium triplinerve. Vahl*) ini mengandung flavonoid, saponin dan tanin. Berdasarkan sifat senyawa saponin dan flavonoid yang larut dalam air dan minyak yang dapat diperoleh melalui ekstraksi dengan cara memanaskan Daun prasman (*Eupatorium triplinerve. Vahl*) yang digunakan memiliki senyawa penyusun tanin dan flavonoid tersebut merupakan senyawa aktif sehingga berpotensi digunakan sebagai karbon aktif (Wangkanusa dkk., 2016). Selain itu, daun prasman mengandung selulosa 50,45%, Hemiselulosa 27,03% dan lignin 13,83%. Kandungan kadar abu sebanyak 5% dan kandungan air 60% dari daun basah.

Berdasarkan referensi tersebut membuktikan bahwa biomassa yang berbahan daun dapat digunakan sebagai bahan karbon sel superkapasitor karena limbah biomassa daun dapat menghasilkan karbon yang baik serta memanfaatkan limbah dalam pengembangan energi terbarukan dengan karbon yang kecil. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan daun prasman sebagai bahan elektroda karbon untuk sel superkapasitor, dengan kandungan flavonoid, saponin dan tanin yang merupakan senyawa aktif sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan karbon aktif. Selain itu, daun prasman juga mudah didapatkan.

Penggunaan daun prasman sebagai bahan baku karbon untuk pembuatan elektroda karbon superkapasitor. Efek spesifik dari aktivasi ZnCl_2 terhadap sifat fisis (struktur pori, luas permukaan spesifik) dan sifat elektrokimia (kapasitansi, resistansi) elektroda karbon daun prasman belum banyak dikaji. Selain itu, Sebagian besar penelitian lebih fokus pada karbon dari limbah keras seperti tempurung atau serat tumbuhan, sehingga studi tentang daun sebagai sumber karbon masih terbatas. Masih perlu dilakukan analisis mengenai korelasi antara parameter aktivasi konsentrasi ZnCl_2 dengan performa superkapasitor yang dihasilkan.

Penelitian ini memanfaatkan daun prasman sebagai sumber karbon berkelanjutan dalam pembuatan sel superkapasitor. Secara sistematis mengevaluasi pengaruh aktivasi ZnCl_2 terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda yang dihasilkan. Selain itu, penelitian ini juga untuk menyediakan data baru yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan material karbon berbasis biomassa untuk aplikasi energi terbarukan.

Dalam penelitian ini, dengan memanfaatkan daun prasman sebagai bahan karbon sel superkapasitor, digunakan variasi konsentrasi aktivator ZnCl_2 sebesar 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M. Proses karbonisasi dilakukan menggunakan gas N_2 pada suhu 600°C , dengan aktivasi fisika pada suhu 850°C .

2.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh aktivator kimia ZnCl_2 terhadap sifat fisis dan elektrokimia elektroda karbon sel superkapasitor daun prasman
2. Menganalisis pengaruh aktivator kimia ZnCl_2 terhadap nilai kapasitansi dari elektroda sel superkapasitor daun prasman.

2.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu mengembangkan bahan baku lokal dari daun prasman (*Eupatorium triplinerve* V) sebagai elektroda karbon untuk aplikasi sel superkapasitor. Hal ini dapat meningkatkan ketersediaan dan keberlanjutan sumber daya alam. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan bahan baku lokal seperti daun prasman dan aktivator ZnCl_2 dapat mengurangi biaya produksi dibandingkan dengan menggunakan bahan baku lain yang lebih mahal.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Juni hingga Desember 2024, 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

2.1 1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Blender
2. *Magnetic stirrer*
3. Mortar
4. Ayakan 100 mesh dan 200 mesh
5. Jangka sorong digital
6. Timbangan digital
7. Kertas saring P1200
8. Oven
9. Teflon
10. Spatula
11. *Stainless steel*
12. Gelas kimia
13. Batang pengaduk
14. Sendok
15. *Hidrolik press*

2.3 Bahan Penelitian

Adapun bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Aquades
2. Daun prasman
3. Aktivasi seng klorida (ZnCl_2)
4. Larutan H_2SO_4
5. Membran telur itik
6. Asam Klorida (HCl)

2.4 Prosedur Penelitian

2.2.1 Pembuatan Sampel Karbon Aktif Daun Prasman

1. Persiapan sampel pra-karbonisasi daun prasman

Daun prasman basah yang digunakan sebagai sampel, dikumpulkan sebanyak 2 kg, kemudian dibersihkan lalu di jemur hingga kering. Daun prasman yang sudah kering ditimbang dengan massa yang sudah ditentukan, kemudian biomassa dibersihkan dengan akuades secara bertahap. Sampel daun prasman yang digunakan sebanyak

400 g yang telah dibersihkan kemudian dibagi menjadi 40 g per bagian. Setiap bagian dari daun prasman menjalani proses pra-karbonisasi pada suhu 250°C selama 1 jam. Setelah pra-karbonisasi selesai sampel kemudian ditimbang lagi untuk mengetahui presentase penyusutan yang terjadi pada sampel daun prasman hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

2. Penggilingan dengan Blender

Setelah sampel di pra-karbonisasi kemudian sampel di haluskan menggunakan blender dan diawal menggunakan ayakan 100 mesh. Agar didapatkan sampel yang lebih halus. Kemudian sampel yang telah diayak, diayak kembali menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel lalu diuji menggunakan alat *Thermogravimetric* (TG) dan *Differential Thermogravimetry* (DTG). Dengan fungsi menganalisis perubahan massa suatu material sebagai fungsi dari suhu atau waktu saat sampel dipanaskan, didinginkan, atau dipertahankan pada suhu tertentu dalam atmosfer tertentu Selanjutnya sampel disiapkan untuk proses aktivasi fisika sesuai dengan suhu yang dihasilkan.

3. Proses Aktivasi Kimia Daun Prasman

Aktivasi kimia pada karbon daun prasman menggunakan larutan ZnCl_2 sebagai aktivator dengan konsentrasi 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M. Untuk menghitung massa ZnCl_2 dapat digunakan persamaan 1:

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

Dimana m adalah massa aktivator (g), M adalah molaritas (mol/L), V_a adalah volume akuades (L), dan M_r adalah masa molekul relatif (g/mol). Proses aktivasi kimia dimulai dengan melarutkan 2,04 g ZnCl_2 untuk konsentrasi 0,1 M kedalam 0,15 L akuades. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 80°C selama 1 jam dengan kecepatan 400 rpm. Selanjutnya, bubuk daun prasman ditimbang sebanyak 30 g dicampurkan ke dalam larutan ZnCl_2 secara perlahan agar larutan dapat tercampur secara merata, pengadukan dilanjutkan dengan suhu yang tetap selama 2 jam dengan kecepatan 800 rpm menggunakan *magnetic stirrer*. Sampel dibiarkan hingga mencapai suhu ruang dan dinetralkan hingga pH normal, selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 80°C sampai 100°C selama 8 jam. Mekanisme tersebut diulang untuk aktivator ZnCl_2 dengan konsentrasasi 0,2 M dan 0,3 M.

Sampel kemudian dihaluskan dengan mortal dan diayak untuk mendapatkan ukuran partikel yang homogen. Sampel tersebut kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal yang dihasilkan dari sampel daun prasman dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk.

4. Pencetakan Pelet

Sampel daun prasman yang telah diaktivasi secara kimia dan berbentuk serbuk karbon kemudian ditimbang dan siap untuk dicetak menjadi pelet berbentuk lingkaran dengan diameter yang telah ditentukan. Sebelum pencetakan pelet, sampel ditimbang dengan massa 0,7 g. Selanjutnya, sampel dicetak dengan pemberian tekanan sebesar 80,64016 kPa atau setara dengan massa 8 ton selama 5 menit menggunakan *hidrolik press*. Pemberian tekanan ini bertujuan untuk memadatkan bubuk karbon di dalam

cetakan, sehingga pelet yang dihasilkan menjadi padat, kuat, dan tidak mudah pecah. Total hasil pencetakan pelet adalah 75 pelet yang akan dikelompokkan menjadi 3 variasi dengan masing-masing variasi terdapat 25 pelet sampel untuk aktivasi 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M.

2.2.2 Karbonisasi dan Aktivasi Fisika (Pirolisis)

Proses karbonisasi dilakukan menggunakan tanur pada temperatur 600°C dalam gas N₂ selama 1 jam. Proses karbonisasi bertujuan untuk membuang bahan-bahan selain karbon. Kemudian proses aktivasi fisika menggunakan CO₂ pada temperatur 850°C selama 1 jam. Selanjutnya proses pemolesan dilakukan dengan meletakkan pelet di atas kertas pasir P1200 dan dipoles secara perlahan sampai ketebalan $\pm 0,2$ mm dan diameter ± 8 mm. Pelet yang selesai diproses siap untuk digunakan sebagai elektroda superkapasitor untuk di uji dengan *Cyclic Voltammetry* (CV). Sampel juga akan dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

2.2.3 Pembuatan Separator Superkapasitor

Tahap awal dimulai dengan proses pemisahan membran yang berada pada kulit telur bebek. Kulit telur dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang menempel dengan menggunakan aquades. Selanjutnya memisahkan membran yang melekat dari kulit telur. Kulit telur kemudian direndam dalam 1 M HCl, dengan tujuan melarutkan CaCO₃ pada kulit telur. Proses perendaman menyebabkan kulit telur melepaskan membran telurnya. Kemudian, membran tersebut dicuci dengan aquades hingga pH membran menjadi netral. Selanjutnya, rendam membran telur dalam 1 M H₂SO₄ selama 2 hari dan separator siap digunakan.

2.2.4 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 prasman 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 × 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*.

2.2.5 Karakterisasi sampel

Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal yang terbentuk dari karbon aktif yang telah dibuat. Pengukuran densitas dilakukan dengan mengukur diameter dan tebal elektroda karbon menggunakan jangka sorong digital, sedangkan untuk pengukuran massa menggunakan timbangan digital. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada karbon elektroda. *Physics Cyclic Voltammetry* (CV) UR Rad-Er 5841 digunakan untuk

mengetahui performa yang dihasilkan dari elektroda sel superkapasitor dengan potensial 0,1 hingga 0,5 V dan kecepatan pemindaian 5 V/s dalam dalam larutan elektrolit H_2SO_4 1 M. Nilai arus, potensial dan waktu yang didapatkan pada sel superkapasitor digunakan untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik dihitung dengan Persamaan 2 (Suryadi dkk., 2022):

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

Dengan:

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

I_c = Arus *charge* (A)

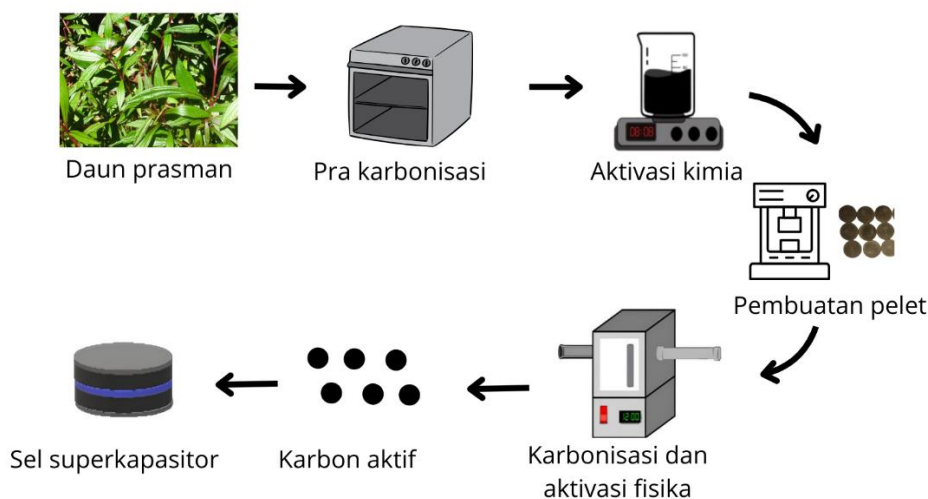
I_d = arus *discharge* (A)

S = laju scan (V/s)

m = massa total karbon (g)

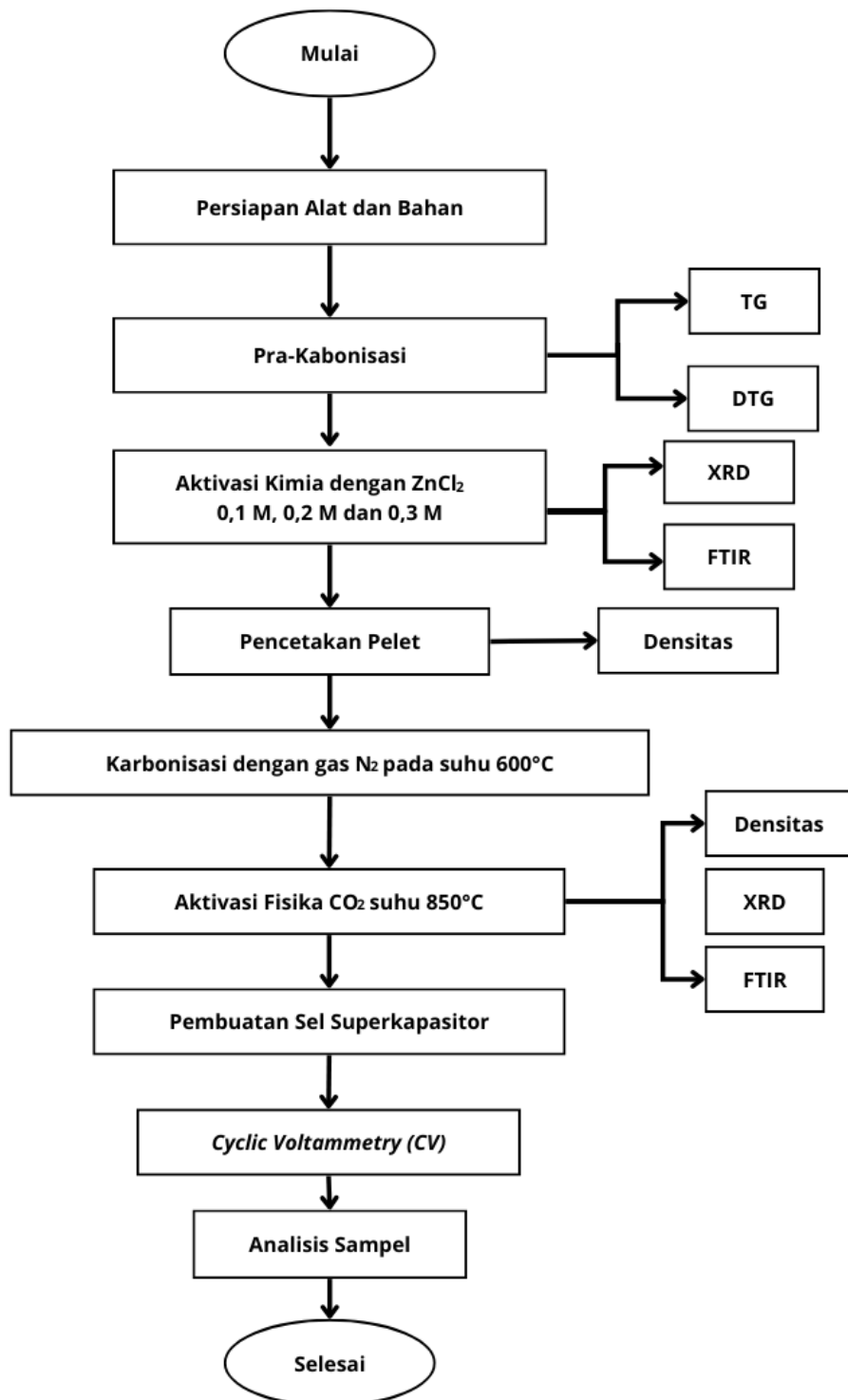
2.5 Diagram Prosedur Penelitian

Pada diagram prosedur dijelaskan mengenai pra-karbonisasi menggunakan oven, aktivasi kimia dengan aktivator ZnCl_2 , pembuatan pelet menggunakan *hidrolik press*, proses karbonisasi dan aktivasi fisika menggunakan tanur sehingga menjadi karbon dan pembuatan sel superkapasitor seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram prosedur penelitian

2.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian