

**PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP SIFAT FISIS
DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON DARI DAUN KEPAYANG
(*PANGIUM EDULE REINW*) SEBAGAI SEL SUPERKAPASITOR**

SYAHRUL

H021181020



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENEGTAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUNDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP SIFAT FISIS
DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON DARI DAUN KEPAYANG
(*PANGIUM EDULE REINW*) SEBAGAI SEL SUPERKAPASITOR**

**SYAHRUL
H021181020**



SKRIPSI
*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVESITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

iii

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI
PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP SIFAT FISIS
DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON DARI DAUN KEPAYANG
(PANGIUM EDULE REINW) SEBAGAI SEL SUPERKAPASITOR

Disusun dan diajukan oleh:

SYAHRUL
H021181020

Skripsi,

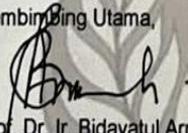
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 28 Juni 2024

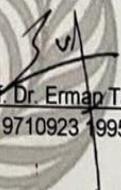
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,


Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, MT.
NIP. 19630830 198903 2 001

Pembimbing Pendamping,


Prof. Dr. Erman Taer, M. Si
NIP. 19710923 199512 1 002

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

iv

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON DARI DAUN KEPAYANG (*PANGIUM EDULE REINW*) SEBAGAI SEL SUPERKAPASITOR" Adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing utama Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T dan pembimbing pendamping Prof. Dr. Erman Taer, M.Si. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam tes dan di cantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 28 Juni 2024

Menyatakan,



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**PENGARUH TEMPERATUR KARBONISASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON DARI DAUN KEPAYANG (*PANGIUM EDULE REINW*) SEBAGAI SEL SUPERKAPASITOR**” yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Lantunan sholawat dikirimkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalaam, yang membawa umatnya dari alam kegelapan menuju alam yang terang benderang seperti yang dirasakan saat ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari adanya hambatan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis, **mama** yang selalu memberikan dukungan, baik secara moral maupun materi. Terima kasih atas didikan serta motivasi yang selalu diberikan untuk menyemangati penulis dalam menjalani masa kuliah.
2. **Prof. Dr. Ir. Bidayatul Arminah, M.T**, sebagai pembimbing utama, dan **Prof. Dr. Erman Taer, M.Si**, selaku pembimbing pertama yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis. Terima kasih telah meluangkan pikiran, tenaga dan waktunya untuk penulis serta memberikan nasehat-nasehat dalam menyelesaikan masa studi.
3. **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M. Eng. Sc.** dan **Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si., M.Si**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan saran dan masukan yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik.
4. **Prof. Dr. Arifin, M. T.**, selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan nasehat bagi penulis dalam menyelesaikan masa studi pendidikan.
5. Seluruh Bapak/Ibu **Dosen** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan terkhusus kepada seluruh **Dosen** Departemen Fisika yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan yang sangat bermanfaat dan menjadi bekal bagi penulis untuk terus berproses.

6. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staff** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terkhusus kepada **Pegawai dan Staff Departemen Fisika** yang telah membantu penulis dalam mengurus administrasi perkuliahan.
7. **Teman-teman FISIKA 2018**, yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir, selalu memberi semangat, motivasi serta dukungan kepada penulis. **Teman-teman ELINS'18** yang selalu memotivasi dan menemani penulis selama berada di Laboratorium elektronika dan instrumentasi.
8. **Teman-teman HIMAFI 2018** yang telah menjadi keluarga kedua untuk penulis dalam berproses di Himafi dari maba hingga sekarang, terima kasih untuk semua cerita dan suka duka yang telah diukir bersama.
9. **Teman-teman dan Kakak-kakak PMC**, yang selalu ada. Terima kasih atas motivasi, bantuan, dan tawa yang kalian bagikan.
10. **Pihak-pihak lain** yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah memberikan kontribusi dalam bentuk apapun, baik langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Tuhan Yang Maha Esa. Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Makassar, 28 Juni 2024

Syahrul

ABSTRAK

Meningkatnya permintaan sumber daya energi terbarukan, superkapasitor menjadi perangkat yang penting karena kinerja energi spesifik dan daya spesifik yang tinggi. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan daun kepayang sebagai bahan dasar elektroda karbon superkapasitor. Proses penelitian pembuatan karbon aktif dari daun kepayang melalui proses karbonisasi dengan gas N_2 pada suhu $500^\circ C$, $600^\circ C$, $700^\circ C$ dan $800^\circ C$ selama 1 jam dengan aktivasi kimia menggunakan $ZnCl_2$, aktivasi fisika dengan CO_2 pada suhu $850^\circ C$ selama satu jam. Karakteristik yang dilakukan meliputi analisis densitas, Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), dan Cyclic Voltammetry (CV). Hasil analisa densitas menunjukkan bahwa setiap kenaikan temperatur nilai massa jenis mengalami penurunan. gugus fungsi pada spektrum FTIR memperlihatkan adanya ikatan C yang terbentuk, sedangkan analisis XRD menunjukkan struktur amorf baik sebelum maupun sesudah pirolisis. Sifat elektrokimia dari karbon daun kepayang menunjukkan bahwa proses difusi yang berlangsung semakin baik seiring tinggi temperatur karbonisasi. Kapasitansi spesifik tertinggi yang didapatkan hasil CV sebesar 91 F/g pada suhu $700^\circ C$.

Kata kunci: Daun Kepayang, biomassa, karbon aktif, kapasitansi, Superkapasitor.

ABSTRACT

Increasing demand for renewable energy resources, supercapacitors are becoming important devices due to their high specific energy and specific power performance. This research focuses on the use of kepayang leaves as a basic material for supercapacitor carbon electrodes. The research process for making active carbon from kepayang leaves is through a carbonization process with N_2 gas at a temperature of 500°C, 600°C, 700°C and 800°C for 1 hour with chemical activation using $ZnCl_2$, physical activation with CO_2 at a temperature of 850°C for one hour. The characteristics carried out include density analysis, Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), and Cyclic Voltammetry (CV). The results of the density analysis show that with every increase in temperature the density value decreases. functional groups in the FTIR spectrum show that C bonds are formed, while XRD analysis shows an amorphous structure both before and after pyrolysis. The electrochemical properties of kepayang leaf carbon show that the diffusion process is getting better as the carbonization temperature is higher. The highest specific capacitance obtained by CV results was 91 F/g at a temperature of 700°C.

Keywords: activated carbon, biomass, capacitance, Kepayang leaves, supercapacitor.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
BAB II METODE PENELITIAN	4
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2.2 Alat dan Bahan	4
2.2.1 Alat.....	4
2.2.2 Bahan	4
2.3 Prosedur Penelitian	5
2.3.1 Pembuatan Sampel Karbon Aktif dari Daun Kepayang.....	5
2.3.1.1 Persiapan Sampel dan Pra-Karbonasi Daun Kepayang.....	5
2.3.1.2 Penggilingan Sampel.....	5
2.3.1.3 Aktivasi Kimia	5
2.3.1.4 Pencetakan Pelet.....	6
2.3.1.5 Karbonisasi dan Aktivasi Fisika (Pirolisis)	6
2.3.2 Pembuatan Separator superkapasitor	6
2.3.3 Pembuatan Sel Superkapasitor	7
2.3.4 Karakterisasi Sampel	7
2.4 Diagram Prosedur Penelitian	8
2.5 Diagram Alir Penelitian	9
BAB III.....	10
HASIL DAN PEMBAHASAN	10
3.1 Penyusutan Massa Daun Kepayang setelah Pra-Karbonisasi.....	10
3.2 Thermogravimetric dan Differential Thermogravimetry	10
3.3 Analisis Massa Jenis	12
3.4 Analisis Cyclic Voltametry	14
3.5 Fourier Transform Infrared	16

3.6 Analisis X-Ray Diffraction	17
BAB IV	19
PENUTUP	19
4.1 Kesimpulan	19
4.2 Saran	19
DAFTAR PUSTAKA	20
LAMPIRAN.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Prosedur Penelitian	8
Gambar 2.2	Bagan alir penelitian	9
Gambar 3.1	Kurva TG dan DTG sampel daun kepayang	11
Gambar 3.2	Massa jenis eletroda sebelum dan sesudah pirolisis.....	13
Gambar 3.3	Kurva Cyclic Voltammetry elektroda sel superkapasitor.....	14
Gambar 3.4	Spektrum FTIR daun kepayang sebelum dan sesudah pirolisis	16
Gambar 3.5	Spektrum XRD pada daun alpukat sebelum dan sesudah pirolisis.....	17

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Persentase penyusutan massa daun kepayang.....	10
Tabel 3.2 Hasil rata-rata pengukuran massa, tebal dan diameter pelet	12
Tabel 3.3 Perbandingan nilai massa jenis sebelum dan sesudah pirolisis	14
Tabel 3.4 Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dari daun kepayang	15
Tabel 3.5 Gugus fungsi karbon Daun Kepayang	17

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	24
Lampiran 2. Perhitungan Densitas Elektroda Sel Superkapsitor Daun Kepayan....	25
Lampiran 3. Perhitungan kapasitansi spesifik (Csp) Daun Kepayang	26
Lampiran 4. Data TG dan DTG Daun Kepayang	27
Lampiran 5. Data FTIR Daun Kepayang.....	28
Lampiran 6. Data CV Daun Kepayang.....	29
Lampiran 7. Data XRD Daun Kepayang	30

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi kendaraan listrik telah meningkat di pasar global dengan meningkatnya permintaan akan sumber daya dan energi tinggi yang ramah lingkungan, menipisnya sumber energi terbarukan menuntut perlunya penyimpanan energi terbarukan [1]. Ketersediaan sumber daya yang terbatas menyebabkan eksploitasi sumber energi terbarukan yang efektif dan efisien dalam menggunakan teknologi. Selama beberapa tahun terakhir, permintaan akan perangkat berkinerja tinggi untuk mengembangkan sumber daya terbarukan telah meningkat pesat meskipun ada kekurangannya, seperti ketersediaan yang tidak memadai, efisiensi rendah, dan biaya fabrikasi yang relatif mahal [2].

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 residu atau limbah, yang merupakan bahan baku alternatif ditemukan [1,2,3].

Superkapasitor digunakan sebagai perangkat penyimpan energi karena memiliki karakteristik yang besar, nilai daya spesifik menunjukkan kecepatan pengiriman energi, dan nilai energi spesifik seberapa jauh superkapasitor dapat mengirimkan energi dengan sekali pengisian [4]. Superkapasitor berbeda dari kapasitor konvensional dalam kenyataan bahwa superkapasitor memiliki daya spesifik yang lebih tinggi daripada kebanyakan baterai, meskipun energi spesifiknya lebih rendah. Untuk membuka potensi penuh superkapasitor, bahan elektroda baru yang memungkinkan energi dan daya spesifik tinggi perlu di kembangkan [5].

Berdasarkan mekanisme penyimpanannya, superkapasitor terbagi menjadi *electrode double layer capacitor* (EDLC) dan *pseudocapacitor*. Superkapasitor EDLC terdiri dari beberapa susunan material di antaranya elektroda, pengumpul arus, elektrolit, dan separator. Elektroda adalah piranti yang sangat penting dalam media penyimpanan energi berbasis superkapasitor dikarenakan dapat bereaksi secara langsung terhadap elektrolit [12]. EDLC merupakan salah satu jenis superkapasitor yang memiliki kestabilan siklus yang sangat baik, hal ini

karena penyimpanan muatan EDLC terjadi secara elektrostatik dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit [14]. superkapasitor terdiri dari elektroda pemisah ion (dielektrik), elektrolit dan pengumpul arus. Superkapasitor sangat tergantung pada ion yang memiliki muatan listrik, ion tersebut berasal dari elektrolit terdisosiasi dan berada di antara kedua elektron karbon [16,17].

Limbah biomassa seperti daun kering, bunga, batang, biji, akar dan kulit luar buah dapat dimanfaatkan untuk produksi bahan karbon. Penggunaan biomassa merupakan bahan karbon yang efisien karena bahan ini dapat didaur ulang, ramah lingkungan, berkelanjutan, mudah, tersedia secara luas di seluruh negeri dan kurang beracun bagi makhluk hidup dan lingkungan. Penting untuk mengetahui sifat-sifat bahan karbon yang berasal dari berbagai biomassa untuk memanfaatkannya sebagai elektroda untuk superkapasitor [1].

Kepayang (*Pangium edule Reinw*) mengandung flavonoid dan saponin, berdasarkan sifat senyawa saponin dan flavonoid yang larut dalam air dan minyak yang dapat diperoleh melalui ekstraksi dengan cara pemanasan [6]. Kebanyakan yang di ambil dalam pembuatan karbon aktif yaitu tempurung kepayang mengandung hemiselulosa 40,99 %, selulosa 70,52 %, lignin 27,88 % dan pentosan 16,89 %. Pada daun kepayang memiliki kadar abu 1,38 % dan kadar air 5,64 %. Berdasarkan pada data tersebut, daun kepayang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan karbon aktif dalam pembuatan superkapasitor

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan daun sebagai karbon aktif telah dilakukan oleh Apriwandi dkk (2021) yang menggunakan biomassa dari daun pisang dengan aktivasi fisika pada suhu yang bervariasi dari 700-900°C dengan aktivasi KOH kapasitasansi spesifik terbaik pada suhu aktivasi tertinggi, yaitu 245 $F.g^{-1}$, karbon aktif meningkatkan luas permukaan spesifik 623,491 m^2g^{-1} dan nilai mesopori 46% [2]. Erman Taer dkk (2022) yang melakukan penelitian dengan sumber biomassa daun serai dengan aktivasi fisika pada suhu 800°C dengan aktivasi $ZnCl_2$ pada konsentrasi 0,7 M yang menghasilkan superkapasitor kapasitasansi spesifik, yaitu 256 $F.g^{-1}$ memiliki sifat fisika dan elektrokimia terbaik dengan SSA mencapai 1694 $m^2 g^{-1}$ kandungan karbon sebesar 90,38% [7]. Penelitian yang berkaitan juga dilakukan Yanna Mao dkk (2021) dengan biomassa dari daun kapas menggunakan air laut sebagai elektrolit yang menunjukkan kapasitasansi sangat baik sebesar, yaitu 212 $F.g^{-1}$ dengan stabilitas sebesar 89% untuk 5000 siklus pada kerapatan arus

yang tinggi [8]. Penelitian yang berkaitan juga dilakukan oleh B. Armynah dkk (2019) yang menggunakan daun bambu sebagai bahan pembuatan karbon aktif dengan aktivasi fisik pada suhu 750°C, 800°C, 850°C dan 900°C memiliki kapasitansi yang terbaik pada suhu 850°C, yaitu 60 $F.g^{-1}$ pada Aktivasi kimia KOH dengan konsentrasi 0,5 M [9]. Kemudian di kembangkan oleh M. Jayachandran (2021) superkapasitor yang dibuat dari daun bambu yang dikarbonisasi dengan suhu tinggi pada 500°C, karbon aktif memberikan kapasitansi spesifik tinggi yang ditemukan, yaitu 290 $F.g^{-1}$ pada 1 A/g dengan elektrolit campuran 1 M Na_2SO_4 + 0.5 M KOH [10].

Penelitian yang dilakukan di atas membuktikan bahwa biomassa karbon aktif yang berbahan daun dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan biomassa daun kepayang sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon superkapasitor dengan aktivasi kimia $ZnCl_2$ dengan konsentrasi 0,3 M.

1.2 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh suhu karbonisasi sifat fisis dan sifat elektrokimia dari elektroda sel superkapasitor daun kepayang.
2. Menganalisis pengaruh suhu karbonisasi terhadap nilai kapasitansi dari elektroda sel superkapasitor daun kepayang.

1.3 Manfaat Penelitian

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

Penelitian superkapasitor memberikan manfaat besar dalam efisiensi penyimpanan energi, daya tahan, kecepatan pengisian, keamanan, stabilitas termal, dukungan teknologi ramah lingkungan, inovasi desain elektronik, pengembangan infrastruktur energi, dan pengurangan biaya operasional.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Februari sampai Desember 2023, 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

2.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Blender
- b. *Magnetic stirrer*
- c. *Ballmilling*
- d. Mortal
- e. Jangka sorong digital
- f. Timbangan digital
- g. Kertas pasir P1200
- h. Kertas saring
- i. Teflon
- j. Oven
- k. Ayakan 200 mesh dan 400 mesh
- l. Spatula
- m. *Stainless steel*
- n. Gelas kimia
- o. Batang pengaduk
- p. *Furnace*
- q. Hidrolik *Press*

2.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Akuades
- b. Daun Kepayang
- c. Aktivasi seng klorida ($ZnCl_2$)
- d. Asam Klorida (HCL)
- e. Membran kulit telur itik
- f. Larutan H_2SO_4

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Pembuatan Sampel Karbon Aktif dari Daun Kepayang

2.3.1.1 Persiapan Sampel dan Pra-Karbonasi Daun Kepayang

Daun kepayang dikumpulkan, kemudian tulang daunnya dipisahkan dari helai daun dan dipotong kecil-kecil. Selanjutnya, daun-daun tersebut dibersihkan dengan aquades. Sebanyak 500 Gram daun kepayang yang telah dibersihkan kemudian dibagi menjadi 50 gram per bagian. Setiap bagian menjalani proses pra-karbonisasi pada suhu 225°C selama 1 jam.

2.3.1.2 Penggilingan Sampel

Daun kepayang yang telah mengalami proses pra-karbonisasi kemudian dihancurkan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel yang sudah diayak kemudian digiling dengan *ball milling* selama 16 jam. Penggilingan dengan *ball milling* ini bertujuan untuk menghancurkan sampel daun kepayang menjadi serbuk yang lebih halus. Setelah itu, sampel diayak kembali menggunakan ayakan 400 mesh. Sebanyak 5 Gram dari sampel kemudian diuji menggunakan alat *Thermogravimetric* (TG) dan *Differential Thermogravimetry* (DTG).

2.3.1.3 Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia pada serbuk daun kepayang menggunakan aktivator $ZnCl_2$ dengan konsentrasi 0.3 M. Untuk menghitung massa aktivator dapat menggunakan persamaan 2.1 [18]:

$$m = \frac{M \times V_a \times Mr}{1000} \quad (2.1)$$

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

Proses aktivasi kimia dimulai dengan melarutkan 6,12 Gram $ZnCl_2$ untuk konsentrasi 0.3 M ke dalam 150 mL aquades. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 80°C selama 1 jam. Selanjutnya, bubuk daun kepayang sebanyak 30 gram dicampurkan ke dalam larutan $ZnCl_2$ secara perlahan agar larutan dapat tercampur secara merata, pengadukan dilanjutkan dengan suhu yang tetap selama 2 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Sampel didiamkan hingga

mencapai suhu kamar dan dinetralkan hingga pH normal, selanjutnya sampel dikeringkan dalam oven dengan temperatur 75°C sampai 100°C selama 16 jam.

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 kepayang dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk.

2.3.1.4 Pencetakan Pelet

Sampel daun kepayang yang telah diaktivasi secara kimia dan berbentuk serbuk karbon kemudian ditimbang dan siap untuk dicetak menjadi pelet. Sebelum pencetakan pelet, sampel ditimbang dengan massa 0,7 gram. Selanjutnya, sampel dicetak dengan pemberian tekanan sebesar 99.64016 kPa atau setara dengan massa 10 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.

2.3.1.5 Karbonisasi dan Aktivasi Fisika (Pirolisis)

Proses karbonisasi dilakukan menggunakan tanur pada temperatur 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C dalam gas N₂ selama 1 jam. Proses karbonisasi bertujuan untuk membuang bahan-bahan selain karbon. Kemudian proses aktivasi fisika menggunakan gas 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 dipoles siap untuk digunakan sebagai elektroda superkapasitor untuk di uji dengan *Cyclic Voltammetry* (CV). Sempel juga akan dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transfrom Infra Red* (FTIR).

2.3.2 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 di dalam 1 M HCl, dengan tujuan melarutkan CaCO₃ pada kulit telur. Proses perendaman menyebabkan kulit telur melepaskan membran terluarnya. Kemudian, membran tersebut dicuci dengan aquades hingga pH membran menjadi netral. Selanjutnya, rendam membran telur dalam 1 M H₂SO₄ selama 2 x 24 jam dan separator siap digunakan.

2.3.3 Pembuatan Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor disusun yang terdiri dari dua elektroda, dua pengumpul arus, pemisah (*separator*) dan larutan elektrolit. Bahan yang digunakan untuk pembuatan sel superkapasitor yaitu karbon aktif dari daun kepayang yang berfungsi sebagai elektroda, *stainless steel* berfungsi sebagai pengumpul arus, membran kulit telur itik sebagai separator dan H_2SO_4 sebagai larutan elektrolit. Selain itu juga menggunakan teflon.

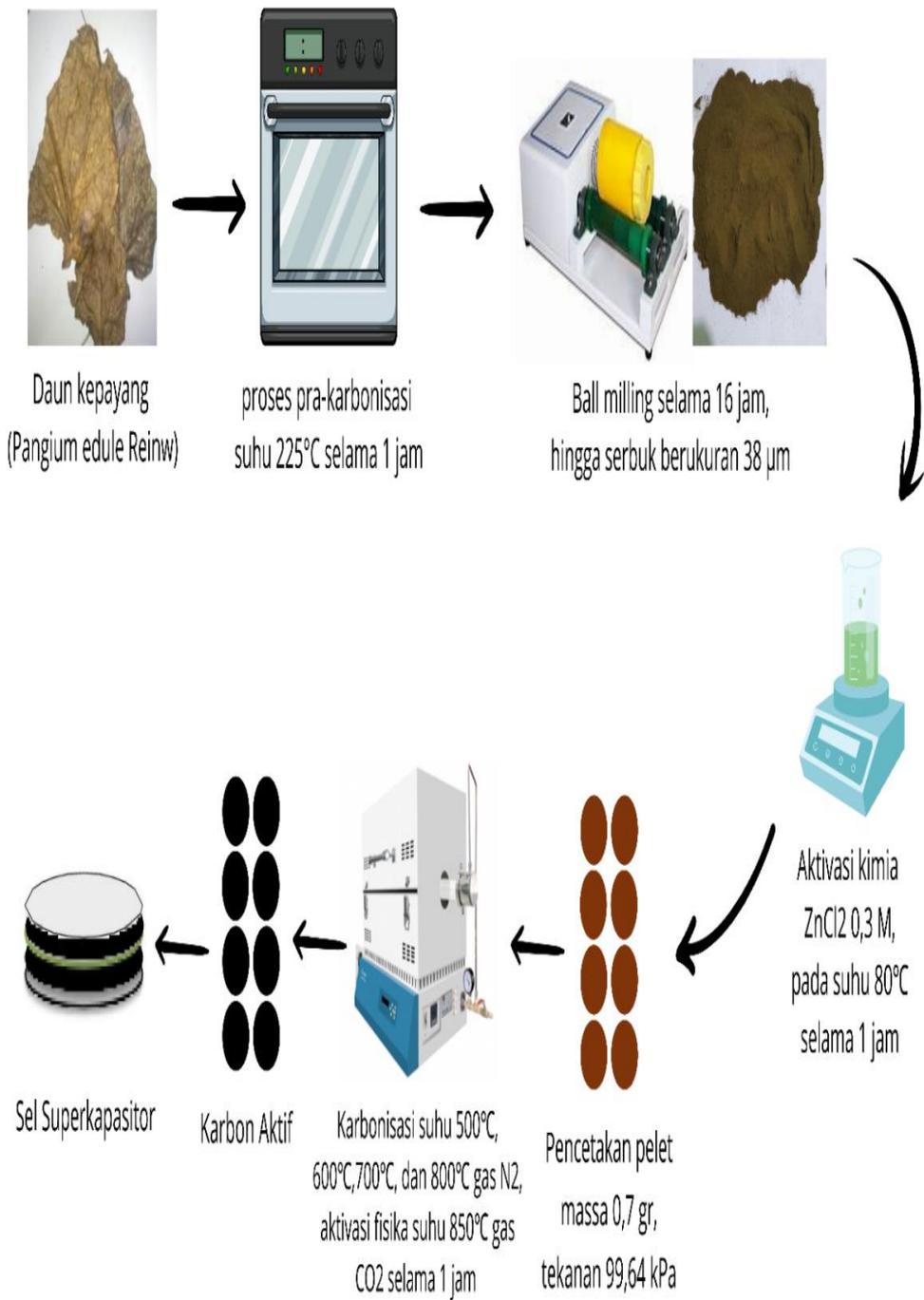
stainless steel yang telah dibentuk sesuai dengan diameter elektroda kemudian dibersihkan dengan aquades lalu didiamkan hingga bersih dan diletakkan di atas cincin Teflon. Elektroda karbon dicelupkan ke dalam H_2SO_4 1 M dan dibiarkan selama 2 x 24 jam. Elektroda karbon diangkat menggunakan spatula lalu ditempatkan di atas *stainless steel* dengan hati-hati dan menempelkan separator di atas elektroda karbon.

Mekanisme diatas diulangi untuk penyangga kedua lalu kemudian kedua badan penyangga ditempelkan. Posisi kedua penyangga dikuatkan dengan menggunakan penjepit supaya elektroda karbon dan ion benar- benar menyentuh permukaan pengumpul arus (*stainless steel*).

2.3.4 Karakterisasi Sampel

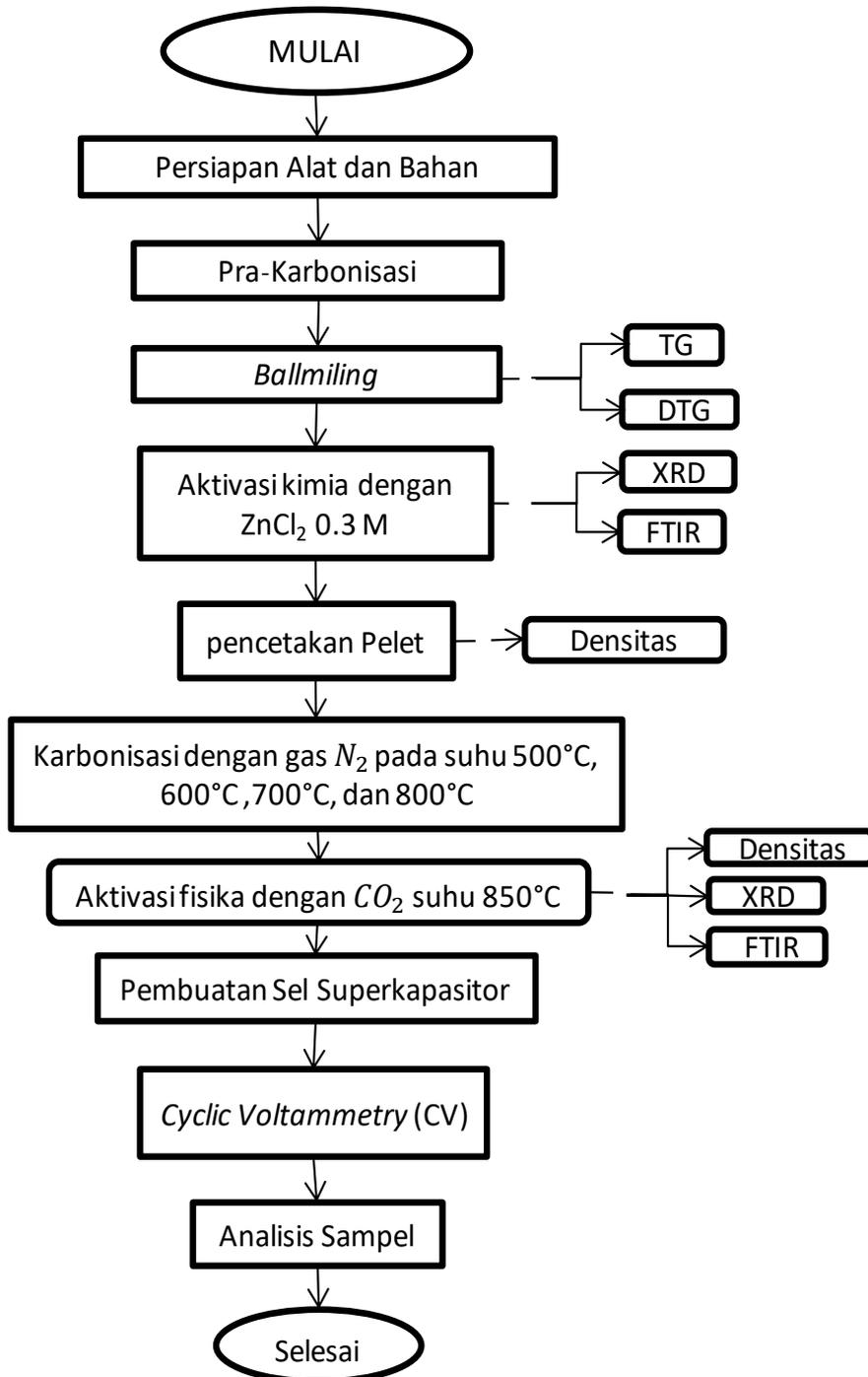
Sampel dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat struktur kristal yang terbentuk dari karbon aktif yang telah dibuat. Pengukuran densitas dilakukan dengan mengukur diameter dan tebal elektroda karbon menggunakan jangka sorong digital, sedangkan untuk pengukuran massa menggunakan timbangan digital. *Fourier Transform 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.

2.4 Diagram Prosedur Penelitian



Gambar 2.1 Diagram Prosedur Penelitian

2.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.2 Diagram Alir Penelitian