BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang pesat, jumlah penduduk meningkat secara signifikan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, maka kebutuhan akan energi semakin tinggi (Farma dkk., 2020). Energi listrik menjadi semakin penting untuk berbagai aktivitas sehari-hari, termasuk dalam teknologi. Perangkat teknologi seperti komputer, ponsel pintar, dan perangkat elektronik lainnya telah meningkatkan konsumsi energi. Oleh karena itu, diperlukan sarana penyimpanan energi yang dapat mengimbangi perkembangan konsumsi energi tersebut (Mahyuda dkk., 2024). Beberapa perangkat penyimpanan energi, seperti kapasitor, baterai, dan *fuel cell*, sering digunakan sebagai solusi untuk mengatasi krisis energi. Meskipun baterai dan *fuel cell* memiliki kapasitas besar, keduanya menghadapi masalah, seperti kerapatan daya yang rendah dan waktu pengisian yang lama. Selain itu, teknologi yang dapat meningkatkan kerapatan daya dan mempercepat waktu pengisian juga diperlukan. Superkapasitor muncul sebagai inovasi terbaru dengan kapasitansi besar serta kerapatan energi dan daya yang tinggi, memberikan solusi menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan energi yang lebih efisien (Farma dkk., 2020).

Superkapasitor merupakan perangkat penyimpan energi yang bekerja dengan transfer muatan secara fisik tanpa reaksi kimia. Secara teknis, superkapasitor memiliki jumlah siklus yang sangat tinggi (lebih dari 100.000 siklus), kerapatan energi yang tinggi, kapasitas penyimpanan energi yang tinggi, prinsip kerja yang sederhana, dan konstruksi yang mudah dibuat (Perdana dkk., 2020). Superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh separator, dengan bahan elektroda yang memiliki luas permukaan spesifik (SSA) tinggi, pengumpul arus, pemisah berpori, dan sistem elektrolit. Elektroda merupakan komponen terpenting, dan bahan elektroda berpori memegang peranan utama dalam menentukan kinerja superkapasitor secara keseluruhan (Chen dkk., 2021).

Pengolahan kembali limbah biomassa merupakan metode yang efektif untuk memaksimalkan pemanfaatan sumber daya yang ada. Salah satu contoh pemanfaatan limbah yang telah diolah yaitu karbon yang diperoleh dari limbah hayati, dan digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor. Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan-bahan yang mengandung karbon, seperti batu bara, serta dari bahan biomassa residu atau limbah, yang menjadi sumber alternatif bahan baku (Nayak dkk., 2024).

Optimized using
trial version
www.balesio.com

akan komponen utama dalam superkapasitor yang berfungsi muatan, di mana peranannya dalam proses transfer dan atan antara kedua elektroda sangat mempengaruhi kinerja ektrokimia, terutama dalam hal kepadatan daya dan energi. ktrolit juga memiliki peran penting dalam superkapasitor. Jenis akan dapat berupa cair, padat, kuasi-padat, atau elektrolit aktif ktrolit yang tepat sangat penting untuk menghasilkan perangkat aman dan berkinerja tinggi (Agustino dkk., 2020).

Tebu (*Saccharum officinarum L.*) merupakan tanaman industri yang digunakan untuk menghasilkan gula. Termasuk dalam keluarga rerumputan (*Gramineae*), tanaman ini memiliki berbagai varietas yang dapat dibudidayakan oleh perusahaan di sektor perkebunan (Ali dkk., 2021). Menurut Ali dkk., (2019), tebu dibudidayakan di seluruh dunia karena nilai ekonomis dan berbagai manfaat yang dimilikinya. Tebu dapat tumbuh dengan baik di wilayah tropis basah dan subtropika, serta dapat berkembang di dataran tinggi maupun dataran rendah pada ketinggian hingga 1.400 meter di atas permukaan laut (mdpl) (Ali dkk., 2019) Berdasarkan data dari BPS (bps.go.id), produksi tebu mengalami peningkatan setiap tahun. Pada tahun 2021, produksi tercatat sebesar 2,35 juta ton, sementara pada tahun 2022 meningkat menjadi 2,40 juta ton. Daun tebu kering memiliki kandungan yang meliputi kadar abu 6,66% sampai 12%, kadar air 9,20%, lignin 18,06%, selulosa 32,76%, dan hemiselulosa 34,64% (Haryanto dkk., 2023). Berdasarkan data tersebut, daun tebu berpotensi digunakan sebagai bahan karbon aktif dalam pembuatan superkapasitor. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Armynah dkk., 2019 menggunakan daun bambu sebagai bahan pembuatan karbon aktif dengan aktivasi fisik pada suhu 750°C, 800°C, 850°C, dan 900°C. Kapasitansi terbaik diperoleh pada suhu 850°C, yaitu 60 F/g pada aktivasi kimia dengan KOH pada konsentrasi 0,5 M (Armynah dkk., 2019). Penelitian yang dilakukan Taer dkk., 2022 dengan memanfaatkan limbah daun serai (*Cymbopogon citrarus*) menghasilkan elektroda karbon berpori yang digunakan dalam superkapasitor dengan teknik sederhana. Proses pembuatan melibatkan karbonisasi dan aktivasi kimia menggunakan $ZnCl_2$ pada berbagai konsentrasi (0,5, 0,7, dan 0,9 M) pada suhu 800°C dalam atmosfer N_2/CO_2. Hasil terbaik diperoleh dari konsentrasi $ZnCl_2$ sebesar 0,7 M, yang menghasilkan luas permukaan spesifik tertinggi sebesar 169 m^2/g dengan kadar karbon mencapai 90,38%. Kapasitansi spesifik mencapai 256 F/g, densitas energi 35,6 Wh/kg, dan densitas daya 128,3 W/kg(Taer dkk., 2022). Menurut Wannasen dkk., 2022 Karbon aktif (AC) dari ampas tebu disiapkan menggunakan aktivasi kimia dengan KOH dan diproses dengan penggilingan bola berenergi tinggi (HEBM) pada kecepatan 600, 1200, dan 1800 rpm untuk menghasilkan nanopartikel AC. Perlakuan HEBM mengurangi ukuran partikel, meningkatkan volume mesopori, dan meningkatkan kandungan oksigen pada permukaan, yang berkontribusi pada pseudokapasitas lebih tinggi. Material AC/BM12 yang digiling pada 1200 rpm selama 30 menit menunjukkan kapasitansi spesifik tertinggi, 257 F/g, pada kerapatan arus 0,5 A/g, sekitar 2,4 kali lebih tinggi dari AC biasa (Wannasen dkk., 2022). Menurut Samantray dkk., 2020 karbon berpori dari *Saccharum spontaneum* dengan aktivasi

°C menunjukkan luas permukaan tinggi sebesar 1590 m^2/g dan nggi dalam elektrolit 1 M H2SO4 sebesar 561 F/g (tiga elektroda) ktroda). Penambahan 0.01M *hidrokuinon* (HQ) meningkatkan gga 1392 F/g dan 658 F/g, dengan stabilitas 77% setelah 5000 ., 2021).

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Penelitian yang dilakukan di atas menunjukkan bahwa biomassa dari daun dapat digunakan sebagai elektroda superkapasitor. Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah daun tebu sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon superkapasitor dengan variasi aktivator kimia KOH. Pembuatan elektroda karbon dari biomassa daun tebu menawarkan sumber karbon yang ekonomis, ramah lingkungan, dan memiliki pori dan luas permukaan yang besar, sehingga berkontribusi pada peningkatan kinerja superkapasitor.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.2.1Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis pengaruh variasi aktivasi terhadap sifat fisis dan kimia karbon aktif yang dihasilkan dari daun tebu.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap kapasitansi spesifik dari daun tebu sebagai elektroda sel superkapasitor.

1.2.2 Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, maka manfaat dari penelitian ini yaitu memanfaatkan limbah daun tebu sebagai bahan baku karbon aktif tidak hanya mendukung pengelolaan limbah organik, tetapi juga mendorong penggunaan sumber energi secara berkelanjutan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB II
METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Juli sampai Desember 2024, di Laboratorium Material dan Energi, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar dan Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru.

2.2 Alat dan Bahan

2.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Blender
2. *Magnetic stirrer*
3. *Ballmiling*
4. Mortal
5. Jangka sorong digital
6. Timbangan digital
7. Kertas pasir P1200
8. Kertas saring
9. Teflon
10. Oven
11. Ayakan 200 mesh dan 400 mesh
12. Spatula
13. *Stainless stell*
14. Gelas kimia
15. Batang pengaduk
16. *Furnace*
17. Hidrolik *Press*
18. *Thermogravimetric (*TG*) dan Differential Thermogravimetry (*DTG*)*
19. *Fourier Transfrom Infrared (*FT-IR*)*
20. *X-Ray Diffraction (*XRD*)*

2.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

Hidroksida (KOH)
CL)
lur itik

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian variasi konsentrasi aktivasi kimia KOH terhadap kapasitansi spesifik elektroda karbon superkapasitor ini menggunakan biomassa dari daun tebu. Adapun prosedur kerja pada penelitian ini, meliputi:

2.1.3 Pembuatan Sampel Karbon Aktif dari Daun Tebu

1. Persiapan Sampel dan Pra-Karbonanisi Daun Tebu

Pra-karbonisasi merupakan tahap awal yangdilakukan dalam pembuatan elektroda karbon aktif sel superkapasitor. Biomassa yang digunakan sebagai sampel merupakan daun tebu kering, yang dikumpulkan kemudian dipisahkan dari tulang daun, daun tebu yang telah bersih dari tulangnya dikumpulkan sebanyak ± 400 gr, kemudian daun dipotong-potong kecil sekitar 2 sampai 3 cm. Kemudian Daun tebu ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak 50 gr kemudian dicuci menggunakan *aquadest* untuk dipra-karbonisasi menggunakan oven pada suhu 180^{o}C selama 1 jam. Setelah pra-karbonisasi selesai sampel kemudian ditimbang lagi untuk mengetahui presentase penyusutan yang terjadi pada sampel daun tebu.

2. Penggilingan Sampel

Sampel daun tebu yang telah dipra-karbonisasi kemudian dihancurkan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh. Sampel yang sudah diayak kemudian digiling menggunakan *ballmilling* selama ± 10 jam. Penggilingan dengan *ballmilling* ini berfungsi untuk menghancurkan sampel daun tebu menjadi serbuk yang lebih halus. Proses *ballmilling* yaitu dengan memasukkan sampel sebanyak 50 gr ke dalam botol dan juga bola-bola besi dengan ukuran *heterogeny*. Bola-bola besi berfungsi untuk menghancurkan sampel. Sampel kemudian diayak menggunakan ayakan 400 mesh dan diuji menggunakan alat *Thermogravimetry* (TG) dan *Differential Thermogravimetry* (DTG).

3. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia pada serbuk daun tebu menggunakan aktivator KOH dengan konsentrasi 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M. Untuk menghitung massa KOH dapat menggunakan persamaan 1:

$$m = Molaritas \times Volume_{\ aquades} \times Massa\ relatif \qquad (1)$$

massa aktivator (gr), M adalah molaritas (mol/L), V_a adalah L), dan Mr adalah massa molekul relative (gr/mol) (Novitra dkk.,

ktivasi kimia dimulai dengan melarutkan 0,84 gr KOH untuk M ke dalam 0,15 L akuades. Kemudian larutan diaduk *gnetic stirrer* pada temperature 80^{o}C selama 1 jam dengan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

kecepatan 400 rpm. Selanjutnya, bubuk daun tebu sebanyak 30 gr ditambahkan secara perlahan ke dalam larutan sambil terus di aduk pada suhu konstan selama 2 jam dengan kecepatan 800 rpm. Setelah larutan homogen, pH larutan diukur dengan kertas pH untuk memastikan netralitas, kemudian diendapkan pada suhu ruang. Selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven dengan temperatur 80^{o}C sampai 90^{o}C selama 9 jam. Mekanisme tersebut diulang untuk aktivator KOH dengan konsentrasi 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 tebu dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk.

4. Pencetakan Pelet

Sampel daun tebu 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 gr. Selanjutnya, sampel dicetak dengan pemberian tekanan sebesar 80,64016 kPa atau setara dengan massa 8 ton dengan waktu pencetakan 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 adalah 90 pelet yang akan dikelompokkan menjadi 3 variasi dengan masing-masing variasi terdapat 30 pelet sampel untuk aktivasi 0,1 M, 0,2 M dan 0,3 M.

5. Karbonisasi dan Aktivasi Fisika (Pirolisis)

Proses karbonisasi dilakukan menggunakan tanur pada temperature 600°C dalam gas N_2 selama 1 jam. Proses karbonisasi bertujuan untuk membuang bahan-bahan selain karbon. Kemudian proses aktivasi fisika menggunakan gas CO_2 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 ± 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 dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Optimized using
trial version
www.balesio.com

rator superkapasitor

mulai dengan proses pemisahan membran yang berada pada telur dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran yang menempel ıakan aquades. Selanjutnya memisahkan membran yang elur. Kulit telur kemudian direndam di dalam 1 M HCl, dengan $CaCO_3$ pada kulit telur. Proses perendaman menyebabkan kan membran terluarnya. Kemudian, membran tersebut dicuci

dengan aquades hingga pH membran menjadi netral. Selanjutnya, rendam membran telur dalam 1 M H_2SO_4 selama 2 x 24 jam dan separator siap digunakan.

7. 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 tebu 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 akuades lalu didiamkan hingga bersih dan diletakkan di atas cincin Teflon. Elektroda karbon dicelupkan ke dalam larutan 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 tersebut 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).*

8. Karakterisasi Sampel

Karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui sifat struktural, kimia, morfologi, fisik dan elektrokimia dari karbon aktif yang disintesis, yang berkontribusi terhadap performa elektroda, 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 fungsi seperti hidroksil, karbonil, dan karboksilat. Gugus-gugus karena dapat berinteraksi dengan ion elektrolit melalui reaksi *eudocapacitance*), yang merupakan salah satu mekanisme impanan muatan. Oleh karena itu, data FTIR digunakan untuk auh mana sifat kimia permukaan mendukung peningkatan k.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

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 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.

Akhir 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) berdasarkan arus pengisian (I_c) dan pengosongan (I_d).

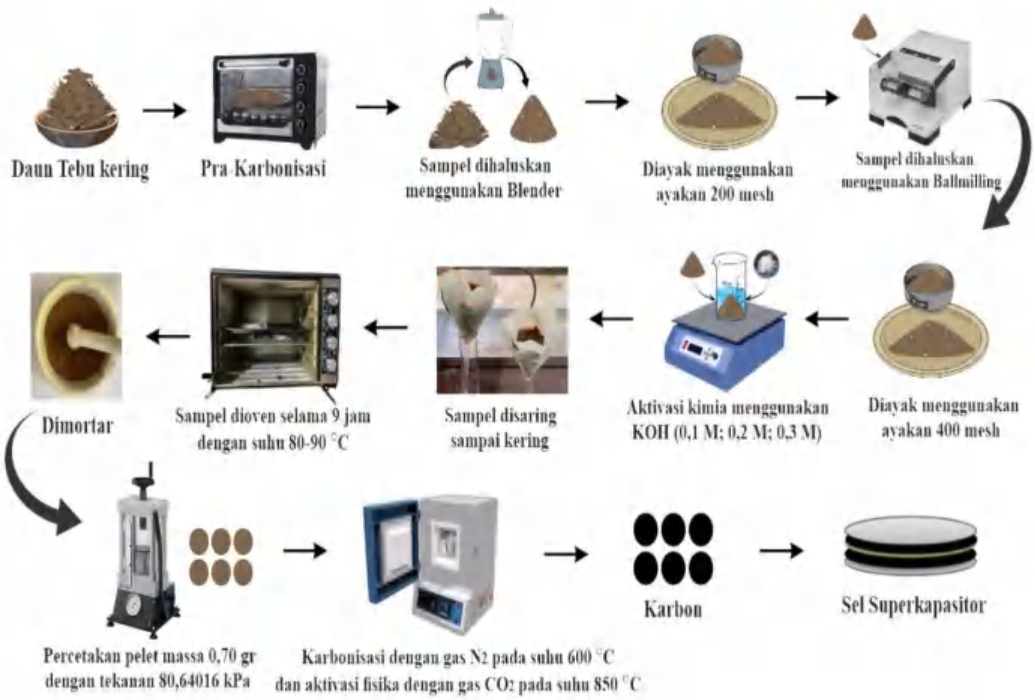
Hasil analisis data melalui pengujian XRD menunjukkan bahwa luas persebaran struktur amorf memiliki hubungan linier terhadap nilai kapasitansi spesifik, sebagaimana halnya hasil pengujian FTIR yang mengidentifikasi gugus fungsi karbonat yang terbentuk. Kedua parameter tersebut menunjukkan bahwa peningkatan struktur amorf dan keberadaan gugus karbonat mendukung peningkatan kapasitansi spesifik. Sebaliknya, pengukuran densitas menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik terhadap kapasitansi spesifik, yang mengindikasikan bahwa material dengan densitas lebih rendah cenderung memiliki kapasitansi yang lebih tinggi.

2.3 Diagram Prosedur Penelitian

Pada diagram prosedur penelitian menggambarkan mengenai langkah-langkah pembuatan karbon aktif berbahan dasar daun tebu. Prosedur penelitian pembuatan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

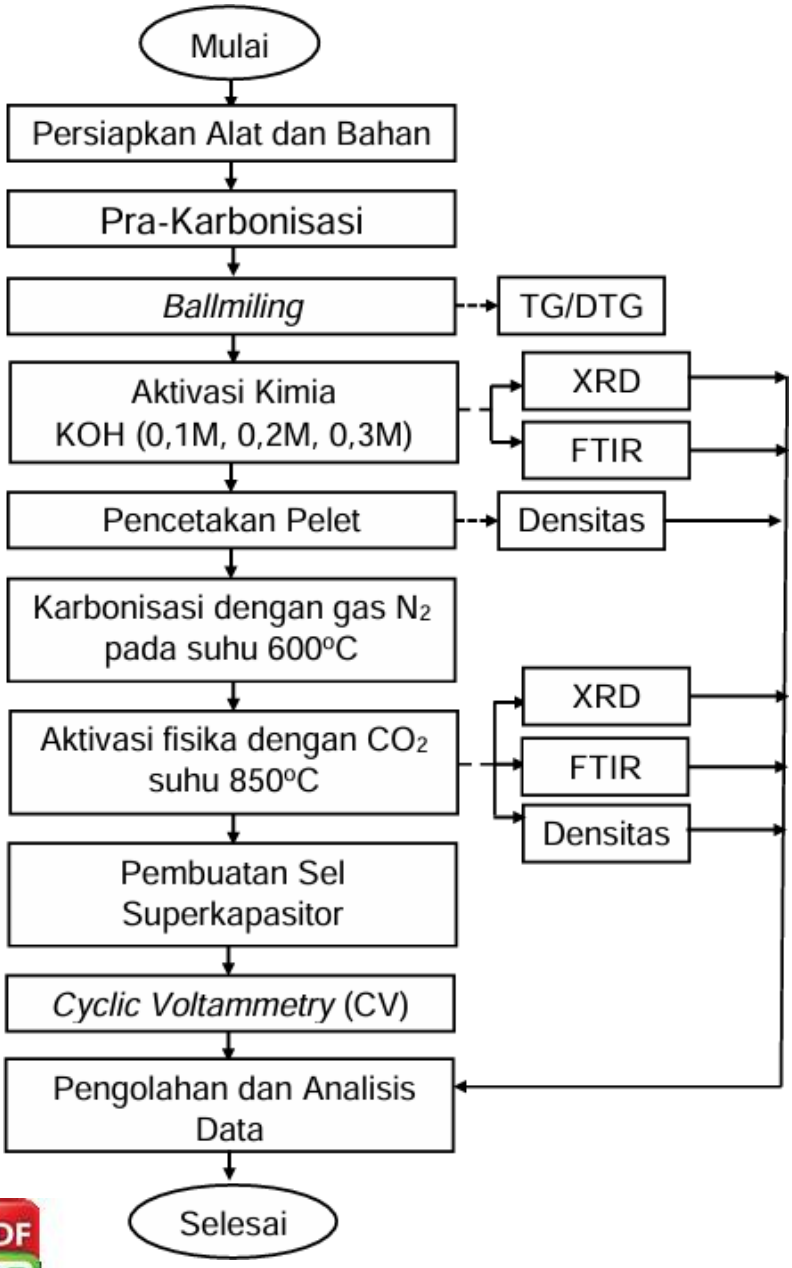
sampel karbon aktif daun tebu dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram prosedur penelitian

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Optimized using
trial version
www.balesio.com