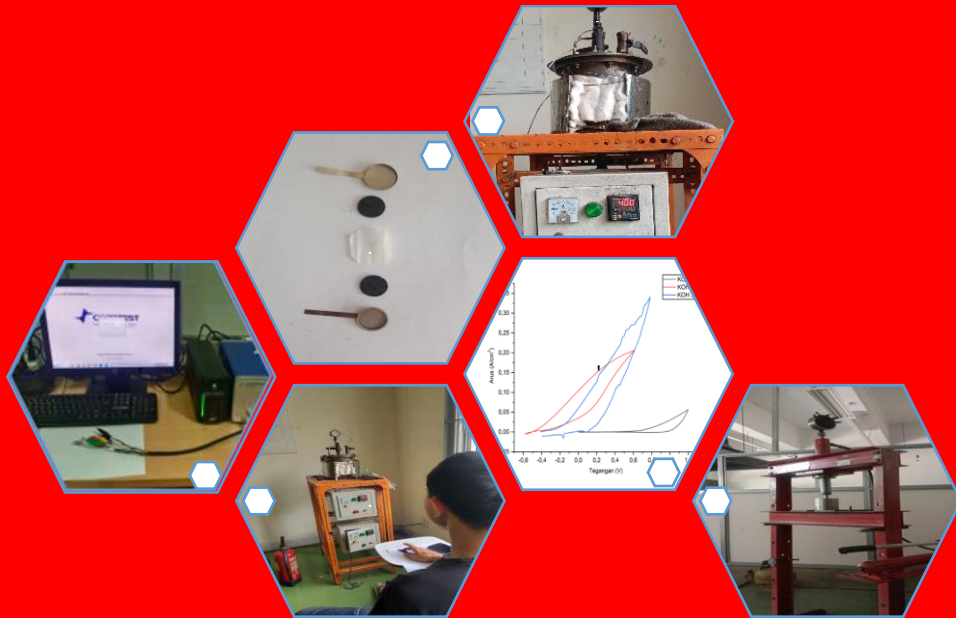


**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN KOH & HCL
SEBAGAI MEDIA AKTIVASI KARBON TERHADAP
KAPASITANSI ELEKTRODA**



**ASWAN S.
D021 19 1024**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN KOH & HCL
SEBAGAI MEDIA AKTIVASI KARBON TERHADAP
KAPASITANSI ELEKTRODA**

**ASWAN S.
D021 19 1024**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN KOH & HCL
SEBAGAI MEDIA AKTIVASI KARBON TERHADAP
KAPASITANSI ELEKTRODA**

ASWAN S.
D021 19 1024

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN KOH & HCL
SEBAGAI MEDIA AKTIVASI KARBON TERHADAP
KAPASITANSI ELEKTRODA**

ASWAN S.
D021 20 1035

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 12 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 19791112 200812 2 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200501 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH & HCL Sebagai Media Aktivasi Karbon Terhadap Kapasitansi Elektroda" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT sebagai Pembimbing Utama). 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 teks yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian 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 12 November 2024



Aswan S.

D021191024

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu Wata'ala* atas rahmat, berkah serta izin-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH & HCL Sebagai Media Aktivasi Karbon Terhadap Kapasitansi Elektroda”**. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian dilaksanakan hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih terkhusus yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ibunda **Rosmiati** dan Ayahanda **Supardi** yang senantiasa mendoakan, menyayangi, menyemangati dan menasehati penulis sampai bisa berada di tahap ini. Dengan segala keikhlasan dan kerendahan hati penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada:

1. Ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** dan Bapak **Ir. Baharuddin Mire, MT** selaku dosen penguji atas segala saran dan masukan untuk perbaikan serta pengembangan skripsi ini.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
4. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Kakak Aldi dan Vitho yang telah menemani, membantu dan mendukung penulis dalam pengambilan data sehingga terselesainya skripsi ini.
6. Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium *Internal Combustion* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberi dukungan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Apabila terdapat kesalahan-kesalahan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis dan bukan para pemberi bantuan. Kritik dan saran yang membangun akan lebih menyempurnakan skripsi ini.

Penulis,

Aswan S.

ABSTRAK

ASWAN S. **Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH & HCL Sebagai Media Aktivasi Karbon Terhadap Kapasitansi Elektroda** (dibimbing oleh Novriany Amaliyah).

Latar Belakang. Kebutuhan elektronik yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan akan perangkat penyimpanan energi listrik juga meningkat. Salah satu perangkat penyimpanan energi listrik terbaik adalah superkapasitor. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisa karakteristik superkapasitor menggunakan elektroda karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan variasi jenis media aktivasi dan konsentrasi aktivator karbon. **Metode.** Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dimulai pada bulan Agustus 2024 di Laboratorium *Internal Combustion* Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Variasi jenis aktivator yang digunakan adalah KOH dan HCL, dengan konsentrasi 1M, 2M dan 3M. Penelitian ini dilakukan dengan tahapan mengidentifikasi dan perumusan masalah, melakukan studi pustaka, pengambilan data, melakukan analisa hasil dan pembahasan, serta penarikan kesimpulan dan saran. **Hasil.** Karakteristik elektroda superkapasitor dengan menggunakan karbon aktif dengan variasi jenis dan konsentrasi media aktivasi karbon aktif dalam penelitian ini nilai kapasitansi terbaik terbaik pada jenis aktivator KOH 3M dengan Nilai kapasitansi 15.83 F/g, densitas energi 3.16 Wh/kg dan densitas power 2400 W/ kg. **Kesimpulan.** Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku elektroda karbon aktif superkapasitor memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan di masa depan.

Kata kunci: superkapasitor, cangkang kelapa sawit, aktivasi, kapasitansi.

ABSTRACT

ASWAN S. *Effect of KOH & HCL Solution Concentration as a Carbon Activation Media on Electrode Capacitance* (supervised by Novriany Amaliyah).

Background. The ever-increasing need for electronics causes the need for electrical energy storage devices to also increase. One of the best electrical energy storage devices is a supercapacitor. **Aim.** This research aims to calculate and analyze the characteristics of supercapacitors using activated carbon electrodes from palm oil shells with variations in the type of activation medium and carbon activator concentration. **Method.** This research was carried out experimentally starting in August 2024 at the Internal Combustion Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Hasanuddin University. The various types of activator used are KOH and HCL, with concentrations of 1M, 2M and 3M. This research was carried out in the stages of identifying and formulating problems, conducting literature studies, collecting data, analyzing results and discussions, as well as drawing conclusions and suggestions. **Result.** Characteristics of supercapacitor electrodes using activated carbon with variations in the type and concentration of activated carbon activation media in this study. The best capacitance value was the 3M KOH activator type with a capacitance value of 15.83 F/g, energy density of 3.16 Wh/kg and power density of 2400 W/kg. **Conclusion.** The use of palm oil shells as raw material for supercapacitor activated carbon electrodes has great potential for development in the future.

Keywords: supercapacitor, palm shell, activation, capacitance.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	II
PERNYATAAN PENGAJUAN	III
HALAMAN PENGESAHAN.....	IV
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	V
UCAPAN TERIMA KASIH.....	VI
ABSTRAK	VII
<i>ABSTRACT</i>	VIII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR TABEL	XI
dAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Landasan Teori.....	4
BAB II METODE PENELITIAN	18
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
2.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
2.3 Metode Pengambilan Data.....	28
2.4 Proses Penelitian	28
2.5 Flowchart Penelitian.....	32
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	33
3.1 Proses Penelitian	33
3.2 Perhitungan Densitas Karbon	41
3.3 Perhitungan Sifat Elektrokimia Elektroda	42
3.4 Pengujian Cyclic Voltammetry	48

3.5	Pengujian Galvanostatic Charge Discharge.....	52
BAB IV KESIMPULAN.....		58
4.1	Kesimpulan	58
4.2	Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA.....		59
LAMPIRAN		62

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Rencana penelitian	18
2. Temperatur karbonisasi	34
3. Temperatur aktivasi.....	38
4. Densitas karbon	41
5. Nilai kapasitansi elektroda.....	51
6. Hasil pengujian GCD.....	55
7. Nilai energi pengujian GCD.....	56
8. Nilai power pengujian GCD.....	57

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Sinyal eksitasi voltametri siklik	15
2. Voltamogram siklik	16
3. <i>Pyrolysis</i>	19
4. Grinder	19
5. <i>Filter bag</i>	20
6. Timbangan digital	20
7. pH Meter	21
8. Gelas kimia	21
9. Pompa hidrolik	22
10. <i>Coin cell</i>	22
11. Cetakan	23
12. Shim plate nikel	23
13. Oven	24
14. Gunting	24
15. <i>Corrtest CS350</i>	25
16. Komputer	25
17. Cangkang kelapa sawit	26
18. Larutan KOH	26
19. Larutan HCL	27
20. Aquades	27
21. Elektroda karbon	29
22. Proses pembuatan elektroda karbon	29
23. <i>Assembly</i> komponen superkapasitor	30
24. <i>Flowchart</i> penelitian	32
25. Cangkang kelapa sawit	33
26. Cangkang kelapa sawit dijemur	33
27. Pirolisis cangkang kelapa sawit	33
28. Massa cangkang sebelum karbonisasi	35
29. Massa cangkang setelah karbonisasi	35
30. Karbon digrinder	35
31. Karbon difilter	36
32. Aktivasi karbon	36
33. Karbon dicuci aquades	37
34. Karbon diaktivasi lanjut	37
35. Karbon hasil aktivasi ditimbang	38
36. Pencetakan cell elektroda	39
37. Cell elektroda dioven	39
38. Menimbang cell elektroda	39
39. Komponen superkapasitor	40
40. Superkapasitor	40
41. Menguji superkapasitor	40
42. Kurva CV elektroda karbon aktif KOH 1M	42

43. Kurva CV elektroda karbon aktif KOH 2M	43
44. Kurva CV elektroda karbon aktif KOH 3M	44
45. Kurva CV elektroda karbon aktif HCL 1M	45
46. Kurva CV elektroda karbon aktif HCL 2M	46
47. Kurva CV elektroda karbon aktif HCL 3M	47
48. Pengaturan pengujian <i>cyclic voltammetry</i>	48
49. Kurva CV elektroda karbon aktif KOH 1M, 2M dan 3M	49
50. Kurva CV elektroda karbon aktif HCL 1M, 2M dan 3M	50
51. Pengaturan pengujian <i>cyclic voltammetry</i>	53
52. Kurva GCD elektroda karbon aktif KOH 1M, 2M dan 3M	53
53. Kurva GCD elektroda karbon aktif HCL 1M, 2M dan 3M	54

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Gambar alat	62
2. Temperatur karbonisasi	63
3. Temperatur aktivasi lanjut.....	64
4. Kurva <i>cyclic voltammetry</i>	65
5. Kurva <i>galvanostatic charge/discharge</i>	66
6. Tabel spesifikasi superkapasitor	67

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era global ini banyak sekali isu mengenai energi bermunculan mulai dari sumber energi baru, terobosan energi alternatif, sampai pengembangan media penyimpanan energi. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan jika sering dipakai maka baterai akan mengalami voltase drop (Suandana, 2015).

Dalam beberapa dekade terakhir, perkembangan teknologi energi mengalami kemajuan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan global akan sumber daya yang lebih efisien dan berkelanjutan. Energi menjadi pilar utama dalam mendukung aktivitas manusia baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam sektor industri. Namun, ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai tantangan termasuk isu lingkungan, perubahan iklim dan ketidakstabilan pasokan energi. Kondisi ini mendorong berbagai penelitian dan inovasi di bidang teknologi energi terutama yang berfokus pada pengembangan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Wang et al., 2012).

Di antara berbagai solusi penyimpanan energi superkapasitor atau kapasitor elektrokimia telah menarik perhatian besar dari kalangan akademisi dan industri. Hal ini disebabkan oleh keunggulan superkapasitor yang mampu menyimpan dan melepaskan energi dengan cepat serta memiliki siklus hidup yang lebih panjang dibandingkan dengan baterai konvensional (Conway, B. E., 1999). Keunggulan ini menjadikan superkapasitor sangat potensial untuk digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, hingga sistem energi terbarukan (Frackowiak E., 2001).

Prinsip kerja superkapasitor berbeda dengan baterai tradisional dimana superkapasitor tidak bergantung pada reaksi kimia untuk penyimpanan energi. Sebaliknya, superkapasitor menyimpan energi melalui mekanisme fisik yaitu akumulasi muatan listrik pada permukaan elektroda (Burke A., 2000). Superkapasitor tersusun dari dua buah elektroda yang dipisahkan oleh separator. Bahan elektroda yang sering digunakan adalah bahan berbasis karbon. Sampai saat ini, beragam jenis bahan karbon yang digunakan sebagai bahan elektroda superkapasitor termasuk karbon aktif, karbon *nanotube*, karbon dan grafit.

Material elektroda memiliki peran yang krusial dalam menentukan kapasitansi superkapasitor. Karbon aktif adalah material elektroda yang paling banyak digunakan dalam aplikasi superkapasitor. Pada penelitian sebelumnya sumber biomassa karbon aktif diperoleh dari limbah cangkang biji kemiri (Kwiatkowski & Broniek, 2017), limbah bubuk kopi (Kamikuri et al., 2014), sekam padi (Chen & Dai, 2013) dan cangkang biji karet (Pangketanang, Artnaseaw & Wongwicha, 2015) yang dijadikan sebagai bahan elektroda pada superkapasitor. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan limbah cangkang kelapa sawit sebagai bahan elektroda superkapasitor.

Bahan karbon dari cangkang kelapa sawit dipilih karena bahannya lebih mudah didapat dan juga upaya pengelolaan terhadap limbah cangkang kelapa sawit yang saat ini pemanfaatannya belum optimal. Cangkang kelapa sawit merupakan bagian yang paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit (Gualous, Louahlia-gualous, Gallay, & Miraoui, 2009). Semakin banyak kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin maka akan semakin baik karbon aktif yang dihasilkan (Reviews, 2018). Dasar pemilihan bahan baku dari karbon aktif cangkang kelapa sawit yang paling menentukan adalah besarnya kandungan karbon pada cangkang kelapa sawit jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa (Harahap et al., n.d.).

Selain bahan karbon pengaruh metoda aktivasi, jenis aktivator, jenis elektrolit, proses karbonisasi atau pirolisis yang digunakan akan menentukan daya dan kerapatan energi yang dihasilkan oleh superkapasitor. Pada penelitian sebelumnya oleh suhendarwati (2013) mengatakan bahwa arang bagas tebu yang diaktivasi menggunakan aktivator KOH memiliki karakteristik yang cukup baik dimana dengan penambahan konsentrasi bahan aktivator menghasilkan karakteristik karbon aktif yang semakin baik. Penelitian yang dilakukan oleh Yola Azli Perdana (2020) mengatakan karbon cangkang kelapa sawit yang diaktivasi menggunakan aktivator KOH memiliki karakteristik yang cukup baik dimana dengan penambahan jumlah larutan aktivator menghasilkan elektroda dengan kapasitansi spesifik tertinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih dalam tentang pengaruh metode aktivasi, jenis aktivator, konsentrasi aktivator terhadap kapasitansi elektroda dengan menguji beberapa kombinasi material elektroda yang paling optimal untuk menghasilkan superkapasitor dengan kapasitansi yang tinggi dan kestabilan yang baik.

Lebih lanjut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya global untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan energi. Dengan hasil yang dihasilkan, penelitian ini dapat membuka jalan bagi pengembangan superkapasitor yang lebih efisien dan ramah lingkungan yang pada gilirannya dapat berkontribusi pada pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mendukung transisi menuju energi yang lebih bersih (Bélanger, D., et al., 2008). Aplikasi superkapasitor yang lebih luas di berbagai sektor industri, seperti transportasi, elektronik dan energi terbarukan, tidak hanya akan meningkatkan efisiensi energi tetapi juga membantu mencapai tujuan keberlanjutan global (Zhang L., 2009).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana pengaruh jenis larutan aktivator karbon terhadap kapasitansi spesifik, densitas energi dan densitas power elektroda?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan aktivator karbon terhadap kapasitansi spesifik, densitas energi dan densitas power elektroda?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk menganalisis pengaruh jenis larutan aktivator terhadap kapasitansi spesifik, densitas energi dan densitas power elektroda.
2. Untuk menganalisis pengaruh konsentrasi larutan aktivator karbon terhadap kapasitansi, densitas energi dan densitas power elektroda.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagi Penulis
 - a. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
 - b. Dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh semasa kuliah.
2. Bagi Universitas
 - a. Dapat menambah bahan bacaan dan menambah ilmu pengetahuan kepada pembaca tentang karakteristik sifat elektrokimia elektroda.
 - b. Dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam penyusunan tugas akhir mahasiswa di lingkup Departemen Teknik Mesin.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bahan baku material cangkang kelapa sawit.
2. Pembakaran dilakukan pada suhu 400 °C selama 3 jam
3. Penelitian menggunakan aktivator larutan KOH dan HCL dengan konsentrasi larutan yang divariasi 1 M, 2 M, dan 3 M selama 24 jam.
4. Penelitian ini menggunakan alat *corrtest CS350*.
5. Penelitian ini menggunakan elektrolit KOH.
6. Penelitian ini menggunakan nikel sebagai kolektor arus.
7. Penelitian ini menggunakan pengujian *Cyclic Voltammetry*.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini di jelaskan mengenai metode pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian serta langkah dan proses penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi tentang pembahasan dari penelitian disertai dengan tabel dan grafik yang di dapatkan selama melakukan pengambilan data.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya dan lampiran.

1.7 Landasan Teori

1.7.1 Cangkang Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Industri pengolahan minyak sawit atau Crude Palm Oil (CPO) akan menghasilkan limbah. Limbah industri kelapa sawit dapat digolongkan menjadi limbah padat, cair, dan gas. Produksi limbah padat dari kelapa sawit dalam 1 ton buah kelapa sawit dapat menghasilkan 65 kg cangkang kelapa sawit. Limbah padat kelapa sawit mengandung hemiselulosa 33,52%, selulosa 38,52%, lignin 20,36%, zat ekstraktif 3,68% dan abu sebesar 3/92% (Khor, 2009). Salah satu jenis limbah padat kelapa sawit adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah yang jumlahnya mencapai 60% dari produksi minyak inti. Limbah cangkang kelapa sawit berwarna hitam keabuan, bentuk tidak beraturan, dan memiliki kekerasan cukup tinggi (Purwanto, 2011).

Cangkang sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri usaha dan rumah tangga. Beberapa diantaranya adalah produk bernilai ekonomis tinggi, yaitu arang aktif, asap cair, fenol, briket arang, dan tepung tempurung. Cangkang sawit merupakan bagian paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Ditinjau dari karakteristik bahan baku, jika dibandingkan dengan tempurung kelapa biasa, cangkang kelapa sawit memiliki banyak kemiripan. Perbedaan yang mencolok yaitu pada kadar abu (ash content) yang biasanya mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan oleh tempurung kelapa dan cangkang kelapa sawit. Arang adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung unsur karbon (Djarmiko, 1985).

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu bahan baku yang kualitasnya cukup baik untuk dijadikan karbon aktif. Cangkang kelapa sawit yang biasanya dijadikan bahan pembuat karbon aktif adalah kelapa sawit yang dijadikan kopra. Bentuk, ukuran dan kualitas cangkang kelapa sawit harus diperhatikan. Jika ukurannya terlalu hancur maka cangkang kelapa sawit itu kurang baik dijadikan bahan pembuat karbon aktif. Cangkang kelapa sawit yang umumnya dijadikan syarat karbon aktif adalah cangkang kelapa sawit yang benar-benar tua, hingga warnanya hitam mengkilap dan keras. Pembuatan karbon aktif yang berkualitas, sebaiknya dilakukan dengan cara dibersihkan dan terpisah dari sabutnya serta berbentuk setengah atau seperempat cangkang kelapa sawit (Sya'ban, 2010).

1.7.2 Penyimpanan Energi

Penyimpanan energi adalah suatu metode untuk menyimpan beberapa bentuk energi yang dapat diambil pada suatu waktu tertentu untuk berbagai kepentingan. Alat yang digunakan untuk menyimpan energi biasanya disebut dengan akumulator. Bentuk-bentuk energi termasuk di dalamnya energi potensial (air, udara), energi kimia (hidrogen, metanol, reaksi kimia), energi kinetik (turbin), energi termal (uap air) adalah bentuk-bentuk energi yang dapat diakumulasi. Jika energi tersebut disimpan atas dasar prinsip elektrokimia maka disebut sistem penyimpanan energi secara elektrokimia (*electrochemical energy storage*). Sistem penyimpanan energi ini dapat diklasifikasikan sebagai mekanis, elektrokimia, kimia, listrik atau termal (International Electrotechnical Commission, 2011).

Penyimpanan energi listrik dapat dilakukan pada kapasitor, baterai, full cell dan superkapasitor (Zhu et al, 2007., Sharma et al, 2005). Beberapa aplikasi yang membutuhkan piranti penyimpanan energi dan dapat menghasilkan rapat energi yang tinggi melalui transfer muatan yang cepat, dapat diperoleh pada superkapasitor.

1.7.3 Baterai

Baterai adalah alat yang dapat menyimpan energi kimia menjadi energi listrik bila diperlukan. Baterai telah dikenal luas penggunaannya sebagai sumber energi yang dapat digunakan untuk beban lainnya, keunggulan baterai sebagai sumber energi listrik adalah kemudahannya untuk dibawa-bawa. Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai muncul akibat perbedaan potensial energi kedua buah elektrodanya, perbedaan potensial ini dikenal dengan potensial sel atau gaya gerak listrik (Siregar F.M., et al, 2019).

Baterai adalah suatu sel elektrokimia yang mengubah dari energi kimia menjadi energi listrik. Salah satu jenis baterai yang saat ini berkembang adalah *Lithium-Ion Battery* atau baterai litium ion. Bagian utama yang menyusun baterai litium ion yaitu elektroda negatif (anoda), elektroda positif (katoda), elektrolit dan separator. Pada tahun 1970 M.S. Whittingham melakukan penelitian pada *Lithium-Ion Battery* dengan logam litium sebagai anoda. Pada tahun 1980, Rachid Yazami mengganti logam litium pada anoda dengan material lain, yaitu grafit. Penggantian material dari logam litium menjadi grafit memberikan pengaruh pada performa *Lithium-Ion Battery* sehingga dapat diisi ulang/*rechargeable batteries*

(Krysten Oates, 2010).

Jenis baterai ini pertama kali pada tahun 1970 yang diperkenalkan oleh peneliti dari Exxon yang bernama M.S. Whittingham yang melakukan penelitian dengan judul "*Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry*". Beliau menjelaskan mengenai proses interkalasi pada baterai litium ion menggunakan titanium (II) sulfida sebagai katoda dan logam litium sebagai anoda. Proses interkalasi adalah proses perpindahan ion litium dari anoda ke katoda dan sebaliknya pada baterai litium ion. Pada tahun 1980, logam litium pada anoda diganti dengan material lain yaitu grafit. Hal ini dilakukan oleh Rachid Yazami dan kawan-kawan di Grenoble Institute of Technology (INPG) dan French National Centre for Scientific Research (CNRS) (Krysten Oates, 2010).

1.7.4 Kapasitor

Kapasitor (Kondensator) yang dalam rangkaian elektronika dilambangkan dengan huruf "C" adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Satuan kapasitor disebut Farad (F). Satu Farad = $9 \times 10^{11} \text{ cm}^2$ yang artinya luas permukaan kepingan tersebut. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Di alam bebas, fenomena kapasitor ini terjadi pada saat terkumpulnya muatan-muatan positif dan negatif di awan. (Ramdhani, 2005)

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai.

Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (*Ampere –hour*). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum

muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere -hour*), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini (Wonning, Paul. R, 2012)

1.7.5 Superkapasitor

Superkapasitor adalah kapasitor elektrokimia yang memiliki rapat energi yang tinggi yaitu antara 106 sampai 10^9 kali lipat dibandingkan kapasitor biasa. Hal yang membedakan superkapasitor dengan kapasitor konvensional adalah dari strukturnya. Elektroda pada superkapasitor menggunakan material karbon, sedangkan kapasitor konvensional menggunakan logam. Efek kapasitansi superkapasitor muncul akibat dua layer substrat karbon yang terpisah pada jarak sangat kecil di skala nanometer.

Mekanisme pada EDLC berupa lapisan ganda yang terbentuk pada permukaan elektroda atau elektrolit dimana muatan-muatan listrik terkumpul pada permukaan elektroda. Ion-ion muatan yang berlawanan tersusun pada tepi-tepi elektrolit. Besarnya nilai kapasitansi superkapasitor sangat bergantung pada luas permukaan dan volume yang dilalui oleh ion dalam elektrolit (Burke, 2000).

Superkapasitor juga dikenal sebagai ultracapacitor, adalah perangkat penyimpanan energi yang memiliki kapasitansi yang sangat tinggi dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh elektrolit. Jenis superkapasitor yang umum adalah superkapasitor elektrokimia, yang memanfaatkan mekanisme penyimpanan energi elektrostatis dan elektrokimia.

Superkapasitor atau *Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC) atau kapasitor elektrokimia lapis ganda dapat didefinisikan sebagai dua lempengan berpori tidak reaktif (elektroda) yang direndam dalam elektrolit dan diberikan tegangan potensial pada kolektor. Sebuah pemisah dielektrik berpori berada diantara kedua elektroda yang berfungsi mencegah muatan bergerak diantara dua elektroda (Pan et al., 2010).

Kapasitor elektrokimia adalah kapasitor jenis khusus yang bekerja berdasarkan *charging* (pemasukan muatan) dan *discharging* (pelepasan muatan) dari *interface* material-material yang mempunyai luas spesifik yang tinggi seperti material karbon yang berpori atau beberapa oksida logam yang berpori. Walaupun dibangun dengan prinsip dasar yang sama dengan kapasitor konvensional, Kapasitansinya 10000 kali lebih tinggi daripada kapasitansi kapasitor konvensional dengan dimensi yang sama. Oleh karenanya, kapasitor elektrokimia sering juga disebut "*superkapasitor*" atau "*ultracapacitor*" (Berutu, Susanti, & Purwaningsih, 2016).

Ragone plot adalah grafik koordinat dua-logaritmik yang digunakan untuk memetakan kinerja perangkat penyimpanan energi. Secara konseptual, sumbu horizontal menggambarkan berapa banyak energi yang tersedia sebagaimana diindeks oleh energi spesifik (Wh kg^{-1}), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan seberapa cepat energi itu dapat disampaikan, diwakili oleh daya spesifik (W kg^{-1}). Energi spesifik dan daya spesifik adalah dua indeks paling penting untuk

mengukur perangkat penyimpanan energi (Peng H. , 2015).

Superkapasitor mampu menutupi celah energi dan juga daya spesifik antara baterai dengan kapasitor konvensional. Karena karakteristik uniknya yang mencakup wilayah yang luas pada daya spesifik dan energi spesifik, superkapasitor dibuat untuk menjembatani perbedaan kinerja kritis diantara kapasitor konvensional yang mempunyai daya spesifik yang tinggi dengan baterai / sel bahan bakar yang mempunyai energi spesifik yang tinggi (Kötz & Carlen, 2000). Sehingga dapat disimpulkan bahwa superkapasitor merupakan tipe perangkat yang berorientasi pada daya dengan efisiensi energi yang tinggi dan siklus hidup yang lama (Chang, 2010).

Untuk meningkatkan energi spesifik, material elektroda yang berpori dengan luas permukaan yang besar dan konduktivitas listrik yang tinggi diperlukan. Material karbon, karena biayanya yang rendah, luas permukaan yang tinggi, ketersediaan yang melimpah serta kemudahan produksi dan pemrosesan, dianggap sebagai material yang sesuai (Halper & Ellenbogen, 2006).

Menurut mekanisme penyimpanan energi, superkapasitor dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori: *Electrochemical double-layer capacitor* (EDLC) yang dinamai dan pseudocapacitors. (Peng H. , 2015). Prinsip penyimpanan energi pada EDLC adalah akumulasi dari muatan elektrostatik pada elektroda- interface elektrolit. Prinsip ini didasari dari lapisan listrik ganda yang terbentuk pada antar permukaan lapisan antara karbon aktif dan elektrolit sebagai dielektrik (Yang, Lu, White, & Rajan, 2013).

Adanya mekanisme absorpsi dan desorpsi ion pada *double-layer* elektroda karbon aktif berperan dalam pengisian dan pengosongan EDLC. Dengan memberikan tegangan pada elektroda yang saling berhadapan maka ion akan tertarik ke permukaan kedua elektroda dan terjadilah proses pengisian atau *charging*. Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat EDLC digunakan dan terjadilah proses pengosongan atau *discharging* (Murata Co. Ltd. 2013).

Pada pseudocapacitors, ada transfer muatan ke dalam lapisan molekul selama proses pengisian dan pengosongan yang mengarah ke proses Faradic antara elektroda dan elektrolit. Ini melibatkan reaksi Faradaic yang cepat dan reversibel, seperti elektrosorpsi, reaksi redoks dan proses interkalasi pada antarmuka elektroda / elektrolit (Henson, 2008). Energi disimpan dalam bentuk reaksi kimia.

Tetapi baik EDLC dan pseudocapacitor EDL masih memiliki kelemahan seperti kapasitansi rendah pada EDLC dan masalah stabilitas pada pseudocapacitors. Sehingga dalam banyak kasus, kedua mekanisme ini digabungkan dalam satu sistem. Di mana EDLC dan pseudocapacitor terintegrasi dalam elektroda yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan antara penyimpanan energi dan pengiriman energi, yang umumnya disebut superkapasitor asimetris (juga disebut hybrid superkapasitor) (Peng H., 2015)

Kurva yang terbentuk merupakan hasil dari pengujian *cyclic voltammogram* (CV), dimana setiap bentuk kurva akan menjelaskan tentang kemampuan *charge/discharge* superkapasitor, yang kemudian dibagi menjadi 3 tipe. Yang

pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola *charging discharging* yang sama, sehingga mempunyai bentuk yang *rectangular*, atau persegi, yang menandakan bahwa *charging discharging* berlangsung dalam waktu yang sama. Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (titik- titik merah).

Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV yang *rectangular*, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai kurva yang terbentuk merupakan hasil dari pengujian *cyclic voltammogram (CV)*, dimana setiap bentuk kurva akan menjelaskan tentang kemampuan *charge/discharge* superkapasitor, yang kemudian dibagi menjadi 3 tipe.

Yang pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola *charging discharging* yang sama, sehingga mempunyai bentuk yang *rectangular*, atau persegi, yang menandakan bahwa *charging discharging* berlangsung dalam waktu yang sama. Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (titik- titik merah). Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV yang *rectangular*, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai.

1.7.6 Elektroda

Elektroda memegang peranan penting terhadap pengaruh nilai kapasitansi sel superkapasitor. Material yang digunakan untuk pembuatan elektroda superkapasitor antara lain karbon *aerogel*, *nanofom*, *nanotube*, karbon berpori, logam oksida, dan polimer konduktif. Bahan elektroda seperti logam oksida, yang menghasilkan kapasitansi spesifik dan konduktivitas yang tinggi adalah Ru (*ruthenium*) dan Ir (*iridium*) namun kelangkaan dan mahalnya logam ini menjadi pemicu untuk jarang digunakan sebagai bahan elektroda dasar. Material elektroda dari superkapasitor komersial yang banyak digunakan adalah karbon berpori yang dibuat dari bahan alam dan lain sebagainya (Taer, E., 2009)

1.7.7 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon. Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya absorpsinya menjadi lebih tinggi terhadap zat warna dan bau. Karbon aktif mengandung 5-15% persen air, 2-3 % abu dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon yang sekarang banyak digunakan berbentuk butiran (*granular*) dan berbentuk bubuk (*tepung*).

Karbon yang berbentuk bubuk memerlukan waktu kontak lebih singkat dibandingkan karbon berbentuk butiran, tetapi karbon berbentukbubuk lebih sukar ditangani. Karbon berbentuk butiran dapat diaktifkankembali untuk digunakan selanjutnya, yaitu dengan cara memanaskan di dalam pembakar (*furnace*) ganda. Karbon aktif dapat mengeluarkan bahan organik terlarut pada konsentrasi yang rendah pada air. Keduanya, baik itu karbon aktif granular (*Granular Activated*

Carbon/GAC) maupun bubuk (*Powdered Activated Carbon/PAC*) diterapkan sebagai perintang dalam pengolahan limbah cair. Luas permukaan karbon aktif yang besar akan mengasimilasi bahan organik sedangkan mikroba mendegradasi untuk membuka kembali pori pada granular. Karenanya bahan beracun pada limbah cair dapat dikurangi kapasitasnya. Beberapa bahan yang dengan cepat dibiodegradasi sulit mengadsorpsi karbon, membuatnya sulit untuk memprediksi effluent dari limbah (AdiPutra, 2016).

Luas karbon aktif yang memiliki ukuran pori berskala nano juga sangat menarik untuk dikembangkan sebagai elektroda superkapasitor karena memiliki sifat adsorben stabil terhadap pemanasan tinggi dan memiliki luas permukaan yang besar yaitu $400\text{--}2200\text{ m}^2/\text{g}$ (Rosi dkk, 2009).

Karbon aktif yang digunakan untuk pembuatan elektroda pada superkapasitor harus memiliki ukuran pori relatif kecil dalam skala nanometer dengan luas permukaan yang besar ($400\text{--}2200\text{ mg}^{-1}$) (Rosi dkk, 2012). Hal ini dikarenakan dengan luasnya permukaan pada karbon aktif maka anion dan kation dapat terkumpul secara menyeluruh pada tiap-tiap permukaan elektroda (Ariyanto dkk, 2012).

1.7.8 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara garis besar ada tiga tahap pembuatan karbon aktif, yaitu:

1. Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari, atau dengan memanaskan sampel pada suhu berkisar antara 170°C dalam oven (Melania, 2012)

2. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan tahapan pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Cangkang kelapa sawit yang mengandung karbon dikarbonisasi pada suhu 450°C tanpa adanya gas oksigen dalam *furnace*. Tujuan proses karbonisasi yaitu untuk memisahkan bahan non karbon yang terperangkap dalam bahan baku sehingga sebagian besar yang tersisa dari bahan adalah karbon.

Sebelum proses karbonisasi cangkang kelapa sawit dibersihkan agar dapat dipisahkan dari kotorannya seperti tanah dan kerikil. Cangkang kelapa sawit didehidrasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada sampel. Cangkang kelapa sawit yang sudah didehidrasi dipotong kecil-kecil untuk menyempurnakan dan meratakan proses karbonisasi (Pujiarti *et al.*, 2005). Selanjutnya cangkang kelapa sawit dipanaskan tanpa udara dan tanpa penambahan zat kimia. Namun pada pembentukan karbon proses karbonisasi yang digunakan adalah pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna adalah proses pembakaran dengan persediaan oksigen terbatas yang akan menghasilkan CO atau karbon

dalam bentuk arang (karbon) (Fessenden, 1982).

Proses karbonisasi akan dihasilkan arang (karbon) yang mempunyai kapasitas penyerapan rendah. Selanjutnya akan dilakukan proses lanjutannya yaitu aktivasi karbon aktif agar memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi (Sya'ban, 2010).

3. Aktivasi

Aktivasi adalah perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat karena terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa karbonisasi (Shreve., 1977). Proses aktivasi bertujuan untuk membuka dan menambah pori-pori pada karbon aktif. Semakin bertambahnya jumlah pori-pori karbon aktif akan meningkatkan luas permukaan karbon aktif sehingga kapasitas penyerapannya bertambah besar.

Daya serap karbon aktif semakin kuat bersamaan dengan meningkatnya konsentrasi dari aktivator yang ditambahkan. Hal ini memberikan pengaruh yang kuat untuk mengikat senyawa-senyawa tar keluar melewati mikro pori-pori dari karbon aktif sehingga permukaan dari karbon aktif tersebut semakin lebar atau luas yang mengakibatkan semakin besar pula daya serap karbon aktif tersebut. Studi tentang karbon aktif telah banyak melaporkan bahwa terdapat beberapa kelebihan aktivasi kimia dibandingkan aktivasi fisika bahwa kelebihanannya yaitu aktivasi kimia memungkinkan untuk diperoleh luas permukaan karbon aktif yang lebih tinggi daripada aktivasi fisika (Gunawan, 2010). Metode aktivasi yang dapat digunakan antara lain:

1) Aktivasi kimia

Proses aktivasi dilakukan dengan mempergunakan bahan kimia sebagai *activating agent*. Metode ini bertujuan untuk mendegradasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan, serta melindungi permukaan karbon (Alfiany *et al.*, 2013)

Aktivasi kimia ini dilakukan dengan merendam arang (karbon) ke dalam larutan kimia diantaranya ZnCl_2 , HNO_3 , KCl , dan lain lain. Aktivasi kimia dengan menggunakan ZnCl_2 dan H_3PO_4 digunakan karena dapat meningkatkan porositas dan rendemen. Akan tetapi penggunaan ZnCl_2 bersifat korosif dan berbahaya karena dapat mengeluarkan gas klor yang bersifat racun (Garcia *et al.*, 2002). Aktivasi menggunakan kombinasi H_3PO_4 dan uap air sangat dianjurkan (Baker *et al.*, 1997). Konsentrasi asam fosfat yang biasa digunakan untuk mengaktifkan arang (karbon) adalah sebesar 10-15% yang direndam selama 12-24jam (Sudrajat *et al.*, 2011). Unsur-unsur mineral dari persenyawaan kimia yang ditambahkan tersebut akan meresap ke dalam karbon dan membuka permukaan yang semula tertutup oleh komponen kimia sehingga volume dan diameter pori

bertambah besar. Pemilihan jenis aktivator akan berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Masing-masing jenis aktivator akan memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap luas permukaan maupun volume pori-pori karbon aktif yang dihasilkan (Kurniawan *et al.*, 2014).

Faktor-faktor yang mempengaruhi aktivasi kimia yaitu lamanya waktu perendaman sebab waktu perendaman untuk macam-macam zat tidak sama. Sebagai contoh tempurung tempurung kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ direndam selama 20 jam (Tutik *et al.*, 2001). Selain itu, faktor lainnya yaitu konsentrasi aktivator. Semakin tinggi konsentrasi larutan kimia yang digunakan untuk aktivasi, maka akan semakin kuat pengaruh larutan tersebut mengikat senyawa-senyawa tar sisa karbonisasi untuk keluar melewati mikro pori-pori dari karbon, sehingga permukaan karbon semakin besar (Sudrajat *et al.*, 1994).

2) Aktivasi fisika

Pada cara ini arang (karbon) dipanaskan dengan suhu tinggi di dalam sistem tertutup tanpa udara sambil dialiri gas inert. Saat ini terjadi reaksi lanjutan pemecahan atau peruraian sisa deposit tar dan senyawa hidrokarbon sisa karbonisasi sehingga keluar dari permukaan karbon sebagai akibat gas bersuhu tinggi dan adanya aliran gas inert sehingga akan dihasilkan karbon dengan luas permukaan yang cukup luas atau disebut karbon aktif (Tutik *et al.*, 2001). Faktor yang mempengaruhi aktivasi fisika yaitu ukuran bahan. Semakin kecil ukuran bahan, maka akan semakin cepat perataan keseluruhan umpan, sehingga pirolisis berjalan sempurna.

Selain itu faktor lainnya yaitu suhu aktivasi. Semakin tinggi suhu aktivasi luas permukaan yang dihasilkan akan semakin besar. Peningkatan suhu selama waktu tertentu akan meningkatkan pembentukan pori-pori baru baik mikropori, mesopori, dan makropori. Namun bila suhu dan waktu aktivasi meningkat terus menerus akan menyebabkan luas permukaan menurun. Suhu dan waktu aktivasi harus disesuaikan dengan kandungan karbon pada bahan baku agar karbon yang terkandung pada bahan baku tidak habis (Shofa, 2012).

1.7.9 Grafit

Grafit adalah satu inti karbon yang merupakan konduktor listrik yang bisa digunakan sebagai material elektroda pada sebuah lampu listrik. Bahan grafit mempunyai keistimewaan seperti sifat mekanis seperti logam, ringan dan mempunyai sifat yang baik serta dari segi ekonomi bahan dasar grafit buatan tersedia melimpah dan murah (Arif dkk, 2007).

Grafit merupakan salah satu jenis alotrop karbon yang memiliki struktur kristal yang khas. Ia terdiri dari lapisan-lapisan atom karbon yang tersusun secara teratur dalam bentuk heksagonal. Grafit dikenal dengan sifatnya yang mengilap, halus, dan berwarna abu-abu kehitaman. Ia memiliki kekerasan yang rendah dan dapat dengan mudah meninggalkan bekas goresan pada permukaan (Akbar, 2021).

Salah satu karakteristik yang membuat grafit unik adalah keandalan konduktivitas listrik dan termalnya yang tinggi. Ia merupakan salah satu bahan konduktor terbaik yang ditemukan alam. Selain itu, grafit juga memiliki kapasitas penyimpanan energi yang baik, membuatnya cocok digunakan dalam aplikasi baterai dan sel surya. Grafit ditemukan secara alami di berbagai tempat di dunia, dan juga dapat diproduksi secara sintesis melalui proses grafitisasi. Ia memiliki berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan dalam pembuatan elektroda baterai, bahan tahan panas dalam industri, bahan pelumas, bahan pewarna, dan masih banyak lagi (Suryanto, 2020).

Grafit tidak bergantung pada distribusi pori-pori pada keadaan padat dibandingkan dengan bahan lain. Selain itu grafit ini memiliki sifat yang luar biasa seperti luas permukaan yang besar, termal yang baik, stabilitas kimia yang baik, konduktivitas listrik yang tinggi serta kapasitansi yang besar (Sandhya dkk, 2012).

1.7.10 Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu zat kimia yang dapat menghantarkan listrik ketika terurai menjadi ion-ion dalam pelarut polar. Bahan elektrolit cair dapat menembus celah-celah atau pori-pori dari bahan elektroda, baik anoda maupun katoda. (Endo M., 2001)

Elektrolit yang baik digunakan pada sel superkapasitor adalah elektrolit yang mampu menghasilkan muatan yang tinggi serta mampu memasuki pori-pori yang terdapat dalam elektroda seperti Kalium Hidroksida (KOH) dan Asam Sulfat (H_2SO_4). Pemilihan KOH dan H_2SO_4 sebagai elektrolit karena diameter ion yang dihasilkan lebih kecil sehingga mudah memasuki pori-pori elektroda. Elektrolit KOH memiliki ukuran diameter ion 0,36 nm dan H_2SO_4 memiliki ukuran diameter ion 0,26 nm (Taer E., 2016).

1.7.11 Separator

Separator merupakan komponen pemisah antara dua elektroda supaya tidak terjadinya kontak listrik antara elektroda kerja. Separator ini dibuat dari membrane yang berfungsi untuk melewatkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negatif (Taer E., 2016). Separator bertujuan agar tidak terjadi kontak antara dua elektroda. Separator dikatakan bagus apabila memiliki hambatan listrik yang tinggi, konduktansi ion yang tinggi dan faktor yang mempengaruhi kinerja separator dalam sel superkapasitor adalah ukuran ketebalan. Semakin tebal sebuah separator akan memengaruhi lama ion saat melintasi separator. Separator yang digunakan pada superkapasitor sebaiknya berbahan tipis dengan ketebalan 0-15 mm sampai dengan 0-6 mm sehingga memungkinkan ion elektrolit bergerak antara kedua elektroda (Taer E., 2016)

1.7.12 Pengumpul arus (*Current Collector*)

Pengumpul arus berfungsi menangkap ion-ion dari elektrolit. Bahan yang digunakan sebagai pengumpul arus harus mempunyai kemampuan yang baik untuk menghantarkan arus listrik (bahan konduktor). Ion-ion elektrolit yang dikumpulkan akan semakin optimal jika bahan yang digunakan semakin baik

konduktivitasnya. Aluminium tipis (foil) yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium foil juga berfungsi sebagai pengumpul arus (current collector). Bahan konduktor yang baik harus mempunyai konduktivitas yang tinggi, kekuatan mekanik (tarik) yang tinggi, koefisien muai panjang yang kecil dan modulus elastisitas yang cukup besar seperti perak, tembaga, nikel, aluminium dan stainless steel (Afrianda A., 2018)

1.7.13 Elektrokimia

Pada tahun 1774, Volta menemukan electrophorus atau sebuah perangkat yang bisa menghasilkan listrik statis. Setelah 5 tahun di Royal School, Alessandro Volta dipanggil untuk menjadi profesor di University of Pavia pada tahun 1779. Di tempat tersebut, dia menemukan “tumpukan volta”, metode praktis pertama untuk memproduksi listrik (Yantoro, Dwi, 2019).

Dalam sel elektrokimia, dapat menghasilkan energi listrik dengan jalan pelepasan elektron pada suatu elektroda (oksidasi) dan penerimaan elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Elektroda yang melepaskan elektron dinamakan anoda sedangkan elektroda yang menerima elektron dinamakan katoda. Jadi sebuah sel elektrokimia selalu terdiri dari dua bagian atau dua elektroda, setengah reaksi oksidasi akan berlangsung pada anoda dan setengah reaksi akan berlangsung pada katoda. Dengan kata lain pada sel elektroda kimia, kedua setengah reaksi dipisahkan dengan maksud agar aliran listrik (elektron) yang ditimbulkan dapat dipergunakan. Salah satu faktor yang menunjukkan sebuah sel adalah gaya gerak listrik (GGL) atau perbedaan potensial listrik antara anoda dan katoda (Bird, 1987). Reaksi oksidasi – reduksi Oksidasi ialah perubahan kimia dimana suatu atom atau kelompok atom melepaskan elektron, dan reduksi ialah perubahan kimia dimana suatu atom atau kelompok atom menerima elektron. Transformasi yang mengubah atom netral menjadi ion positif berlangsung dengan melepaskan elektron yang disebut dengan proses oksidasi. Demikian pula, transformasi unsur netral menjadi anion harus diikuti oleh penambahan elektron yang disebut proses reduksi. Oksidasi dan reduksi selalu berlangsung serentak, dan jumlah elektron yang dilepaskan pada oksidasi harus sama dengan jumlah elektron yang di dapatkan pada reduksi (Rosenberg, 1996).

Jenis-jenis sel elektrokimia Sel Elektrokimia terutama digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Dibawah ini jenis-jenis sel elektrokimia:

1. Sel Kering Leclanche Wadah seng dan selubung luar berfungsi sebagai anoda. Ditengah-tengah sel ditempatkan katoda karbon inert. Elektrolit yang berupa pasta terdiri dari MnO_2 ZnCl_2 NH_4Cl dan carbon black. Nilai GGL sel ini adalah kurang lebih 1,5 volt. Sel leclanche dikenal sebagai sel primer karena tidak dapat diisi kembali atau dengan kata lain reaksinya tidak dapat dibalik.
2. Aki (Accu) Aki merupakan salah satu contoh sel sekunder karena reaksi reduksi yang berlangsung pada sel ini dapat dibalik dengan jalan mengalirkan arus listrik. Aki terdiri dari sebuah elektroda timbal dan sebuah elektroda PbO_2 yang dicelupkan dalam larutan asam sulfat. Kedua elektroda tadi mempunyai

permukaan luas dan disusun berdekatan satu dengan yang lain dengan menggunakan rangka yang kaku. Apabila digunakan dalam waktu yang lama, maka kedua elektroda akan dilapisi oleh lapisan PbSO_4 dan air yang dihasilkan akan mengencerkan asam sulfat yang terdapat dalam sel. Dengan demikian arus listrik dari luar dengan arah yang berlawanan, reaksi yang terjadi akan merupakan kebalikan dari reaksi. Asamsulfat akan terbentuk kembali dan PbSO_4 akan membentuk Pb dan PbO_2 lagi. Jadi dengan mengalirkan arus listrik dari luar dengan arah yang berlawanan, sel akan dapat digunakan lagi.

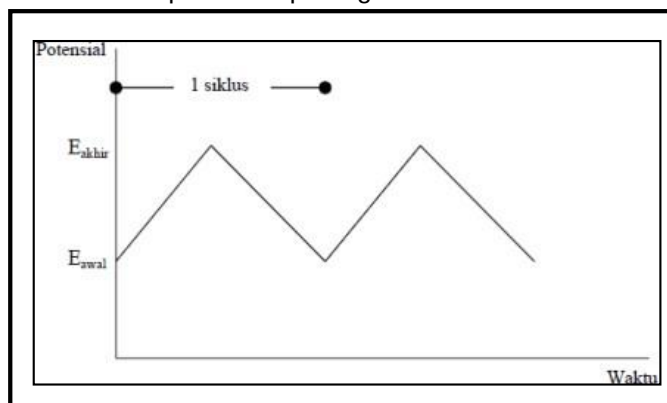
3. Sel bahan bakar merupakan suatu sel elektrokimia yang disusun sedemikian rupa sehingga bahan yang digunakan untuk membentuk elektroda secara terusmenerus diubah dalam sel untuk menghasilkan listrik (Bird, 1987)

1.7.14 Pengukuran Kapasitansi Sel Superkapasitor

Pengukuran sel superkapasitor bertujuan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik dengan metode pengukuran yaitu:

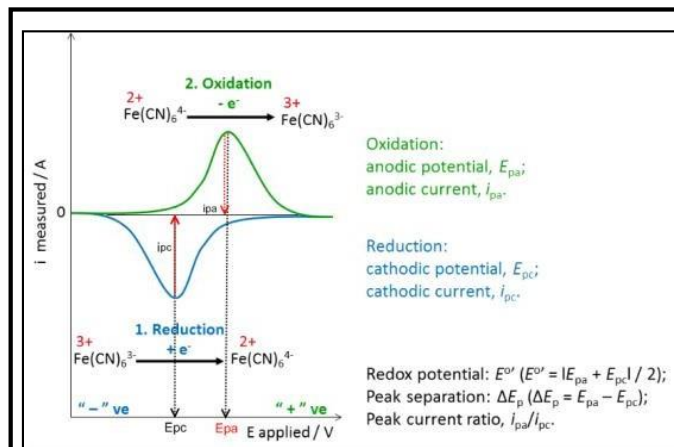
1. *Cyclic Voltammetry (CV)*

Voltametri siklik merupakan teknik yang banyak digunakan untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia (Riyanto, 2013). Teknik ini mampu memberikan informasi mengenai termodinamika proses reduksi-oksidasi dan kinetika transfer elektron yang terjadi dipermukaan elektroda. Pada voltametri siklik respon arus diukur sebagai fungsi potensial, dimana pemberian potensial dilakukan secara bolak-balik, sehingga informasi reduksi dan oksidasi dapat teramati dengan baik. Karakteristik *cyclic voltammetry* tergantung beberapa faktor yaitu laju reaksi transfer elektron, kereaktifan larutan elektroaktif, dan scan rate potensial. Larutan elektrolit yang semula dioksidasi pada sapuan potensial maju (forward scan) akan direduksi setelah sapuan potensial balik (*reverse scan*). Pada teknik voltametri siklik potensial diberikan dalam suatu siklus antara dua nilai beda potensial, pada awal potensial meningkat hingga maksimum kemudian turun secara linier dengan kemiringan yang sama hingga kembali ke potensial awal. Siklus ini akan berulang-ulang dan harus dicatat sebagai fungsi waktu. Ilustrasi tentang teknik voltametri siklik ini dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Sinyal eksitasi Voltametri siklik
(Sumber: Rokhmaturrokhman, 2007)

Hasil dari voltametri siklik ini adalah hubungan antara arus dan potensial disebut voltammogram siklik seperti Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Voltamogram siklik
 (Sumber: Rokhmaturrokhman, 2007)

Keterangan:

E_{pa} = Potensial pada saat terbentuknya peak anodic

E_{pc} = Potensial pada saat terbentuknya peak cathodic

i_{pa} = Arus pada saat terbentuknya peak anodic

i_{pc} = Arus pada saat terbentuknya peak cathodic

Siklik Voltammogram diukur dari potensial antara 0 sampai 1 V dengan laju scanning (memindai) 1 mV/s yang dikontrol dengan menggunakan Coware. Kapasitansi spesifik (F/g) yang akan dihasilkan dengan menggunakan metode *siklis voltammogram* dapat dihitung menggunakan persamaan (Taer et al., 2018):

$$C_{sp} = \frac{\int I dv}{2 \Delta E m v} \quad (1)$$

Keterangan:

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

I = Arus (A)

ΔE = Potential window (V)

m = Massa elektroda karbon aktif (g)

v = Scan rate (V/s)

2. Pengujian *Galvanostatic Charge/Discharge* (GCD)

Galvanostatic charge discharge merupakan metode lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Idealnya, plot tegangan yang dihasilkan dari waktu ke waktu adalah linier, dengan kemiringan positif dan negatif nolak balik. Penyimpangan dari linieritas dapat terjadi karena peningkatan tegangan tiap pertambahan waktu, dengan resistansi seri yang menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) saat beralih dari pengisian daya ke pengosongan (Kampouris et al., 2015).

Kapasitansi spesifik (C_{sp}), rapat energi (E_{sp}), rapat daya (P_{sp}), dilakukan dengan menggunakan persamaan standar berdasarkan voltamogram siklik (Men et al., 2019; Sun et al., 2019).

$$E_{sp} = \frac{1}{2} C_{sp} V^2 \frac{1}{3.6} \quad (2)$$

$$P_{sp} = \frac{E_{sp}}{\Delta t} 3600 \quad (3)$$

dimana,

- C_{sp} = Kapasitansi Spesifik (F/g)
- E_{sp} = Densitas Energi (Wh/kg)
- P_{sp} = Densitas Power (W/kg)
- V = Potential Window (Volt)
- Δt = Waktu Discharge (s)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan metode experimental laboratory ini dimulai pada bulan Agustus 2024 hingga bulan November mulai dari penyusunan proposal, persiapan alat dan bahan, pengujian hingga penyusunan laporan. Adapun lokasi penelitian yaitu laboratorium Internal Combustion & Plasma, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Tabel 1. Rencana Penelitian

No.	Uraian Kegiatan	Waktu Penelitian			
		Agustus 2024	September 2024	Oktober 2024	November 2024
1.	Penyusunan Proposal				
2.	Persiapan Alat dan Bahan				
3.	Pengambilan Data				
4.	Pengujian Sampel				
5.	Penyusunan Laporan				

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

2.2.1 Alat

1. *Pyrolysis*



Gambar 3. *Pyrolysis*

Pyrolysis berfungsi untuk membakar cangkang kelapa sawit menjadi karbon.

2. Grinder



Gambar 4. Grinder

Grinder digunakan untuk menghaluskan cangkang kelapa sawit yang sudah dipirolisis.

3. *Filter Bag* 300 Mesh



Gambar 5. *Filter bag*

Filter bag digunakan untuk menyaring karbon cangkang kelapa sawit yang telah dihancurkan.

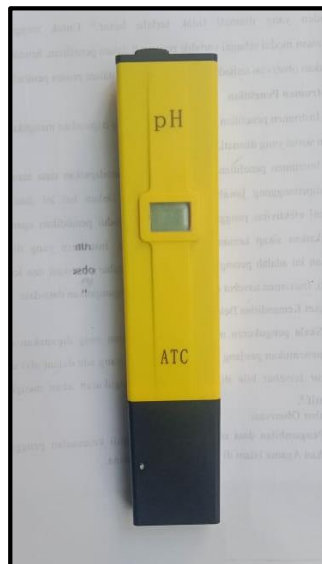
4. Timbangan Digital



Gambar 6. Timbangan digital

Timbangan digunakan untuk mengukur jumlah bahan baku yang digunakan.

5. pH Meter



Gambar 7. pH meter

pH Meter digunakan untuk mengukur tingkat asam basa larutan aktivator.

6. Gelas Kimia



Gambar 8. Gelas kimia

Gelas kimia digunakan untuk mengukur jumlah cairan yang dicampurkan dengan pelarut.

7. Pompa Hidrolik



Gambar 9. Pompa hidrolik

Pompa hidrolik digunakan untuk membuat elektroda karbon.

8. Coin Cell



Gambar 10. Coin cell

Coin cell digunakan sebagai wadah untuk elektroda karbon.

9. Cetakan



Gambar 11. Cetakan

Cetakan digunakan untuk membentuk pola elektroda melingkar.

10. *Shim Plate Nikel*

Shim plate nikel digunakan sebagai kolektor arus.



Gambar 12. *Shim plate nikel*

11. Oven

**Gambar 13.** Oven

Oven digunakan untuk memanaskan pasta elektoda yang telah dibuat.

12. Gunting

**Gambar 14.** Gunting

Gunting digunakan untuk memotong dan membentuk *shim plate*.

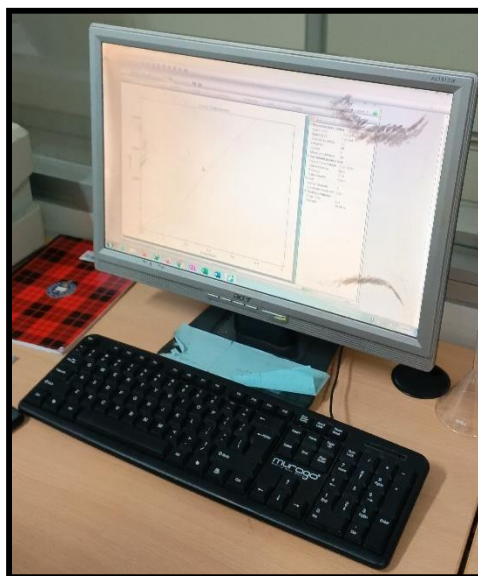
13. Corrttest CS350



Gambar 15. Corrttest CS350

Corrttest CS350 digunakan untuk melakukan pengukuran kapasitansi elektroda.

14. Komputer



Gambar 16. Komputer

Komputer digunakan untuk menampilkan hasil uji pada layar display.

2.2.2 Bahan

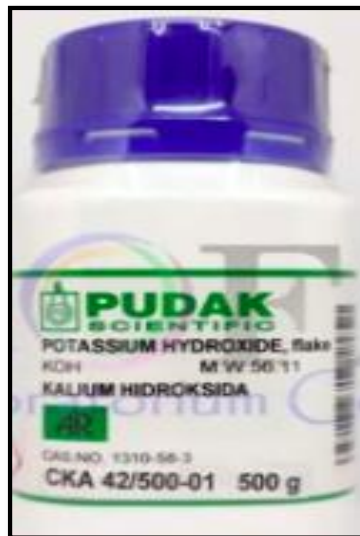
1. Cangkang Kelapa Sawit



Gambar 17. Cangkang kelapa sawit

Cangkang kelapa sawit digunakan bahan baku pembuatan elektroda superkapasitor.

2. Larutan KOH



Gambar 18. Larutan KOH

Larutan KOH digunakan sebagai media aktivator karbon.

3. Larutan HCL



Gambar 19. Larutan HCL

Larutan HCL digunakan sebagai media aktivator karbon.

4. Aquades



Gambar 20. Aquades

Aquades digunakan sebagai bahan pelarut untuk media aktivator karbon.

2.3 Metode Pengambilan Data

2.3.1 Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi lapangan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

2.3.2 Studi Kepustakaan (*Library Research*)

Studi kepustakaan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur sertacatatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

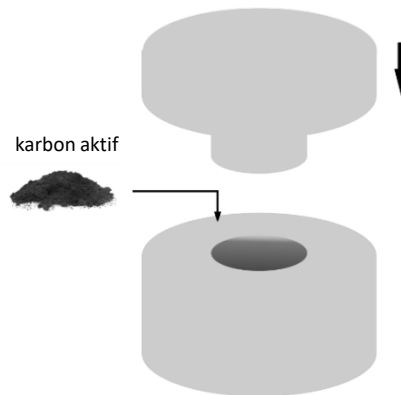
2.4 Proses Penelitian

2.4.1 Pembuatan Karbon Aktif

1. Cangkang kelapa sawit dibersihkan menggunakan air agar tanah dan kerikil yang melekat pada cangkang kelapa sawit hilang.
2. Cangkang kelapa yang bersih dilakukan proses dehidrasi dengan menggunakan sinar matahari selama 2 hari.
3. Cangkang kelapa sawit dikarbonisasi dengan suhu 400 °C selama 3 jam menggunakan pirolisis.
4. Kemudian dihaluskan menggunakan grinding dan diayak menggunakan ayakan 300 mesh
5. Karbon cangkang kelapa sawit diaktivasi dengan perendaman larutan KOH dan HCL dengan menggunakan konsentrasi 1M, 2M dan 3M selama 24 jam.
6. Dilakukan pencucian menggunakan aquades hingga pH 7.
7. Karbon dipanaskan pada suhu 400 °C selama 60 menit.

2.4.2 Pembuatan Elektroda

1. Pembuatan elektroda karbon aktif mempersiapkan terlebih dahulu serbuk karbon elektroda.
2. Setelah menyiapkan bubuk karbon selanjutnya memasukkan bubuk karbon kedalam cetakan yang akan diberikan tekanan menggunakan pompa hidrolis manual.
3. Kemudian memompa pompa hidrolis manual agar dapat memberikan tekanan pada cetakan hingga membuat serbuk karbon aktif menjadi berbentuk plat.
4. Setelah selsai dicetak lalu di masukkan ke dalam microwave dan mengatur suhu 100° C selama satu jam.
5. Membuat elektrolit dari larutan NaOH 3M

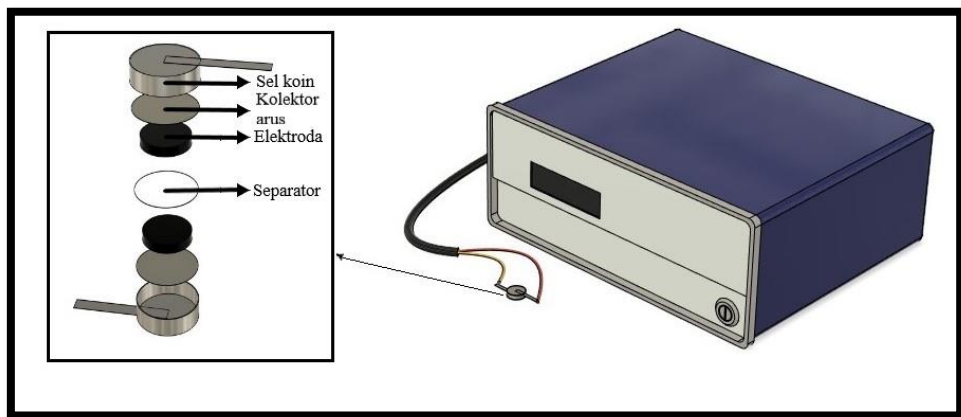


Gambar 22. Proses pembuatan elektroda karbon



Gambar 21. Elektroda karbon

2.4.3 Assembly komponen superkapasitor



Gambar 23. Assembly komponen superkapasitor

Seperti yang di tunjukkan pada gambar 23 sistem sel elektroda dilakukan pengujian *Cyclic Voltammetry* maupun *Galvanostatic Charge Discharge* dengan menggunakan *Corrtest Instrumen*, sistem sel elektroda disusun didalam sel koin yang berfungsi sebagai wadah untuk mengabungkan kolektor arus, elektroda, dan separator. Terdapat 2 kabel penjepit yang digunakan pada alat *Corrtest Instrumen* yang, dimana penjepit merah menghantarkan arus positif dan penjepit kuning menghantarkan arus negatif.

2.4.4 Pengujian Voltametri Siklik

Pengujian voltametri siklik dilakukan dengan menggunakan *corrtest CS350* untuk mengetahui kapasitansi pada elektroda karbon aktif.

Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulumempersiapkan elektroda karbon aktif.
2. Kemudian elektroda dicelupkan ke dalam elektrolit.
3. Menyambungkan elektroda dengan kabel dari alat *corrtest CS350*.
4. Kemudian menghidupkan alat *corrtest CS350* dan personal computer.
5. Membuka aplikasi *CS studio* pada perangkat computer lalu kemudian pilih eksperimen lalu pilih voltametri lalu pilih voltametri siklik.
6. Lalu pada bagian parameter experiment isi data yang diperlukan sesuai yang diinginkan dalam pengujian, pada pengujian ini peneliti menggunakan batas atas 1 V dan batas bawah sebesar 0.2 V dengan scan rate 1 mV/s.
7. Lalu memulai pengujian.

Hasil pengujian kemudian di fitting dengan menggunakan software *CS studio* untuk mengekspor tabel dan data hasil kalkulasi dari hasil pengujian, dan data dihitung menggunakan persamaan (Taer et al., 2018).

$$C_{sp} = \frac{\int I dv}{2 \Delta E m v} \quad (4)$$

Keterangan:

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

I = Arus (A)

ΔE = *Potential window* (V)

m = Massa elektroda karbon aktif (g)

v = *Scan rate* (V/s)

Pada pengujian ini hasil yang didapat adalah grafik *cyclic voltammetry* dan besar kapasitansi spesifik. Spesifik kapasitansi dengan satuan Faraday per gram (F/g) sering digunakan untuk menggambarkan kemampuan penyimpanan muatan dari material elektroda.

2.4.5 Pengujian galvanostatic charge/discharge

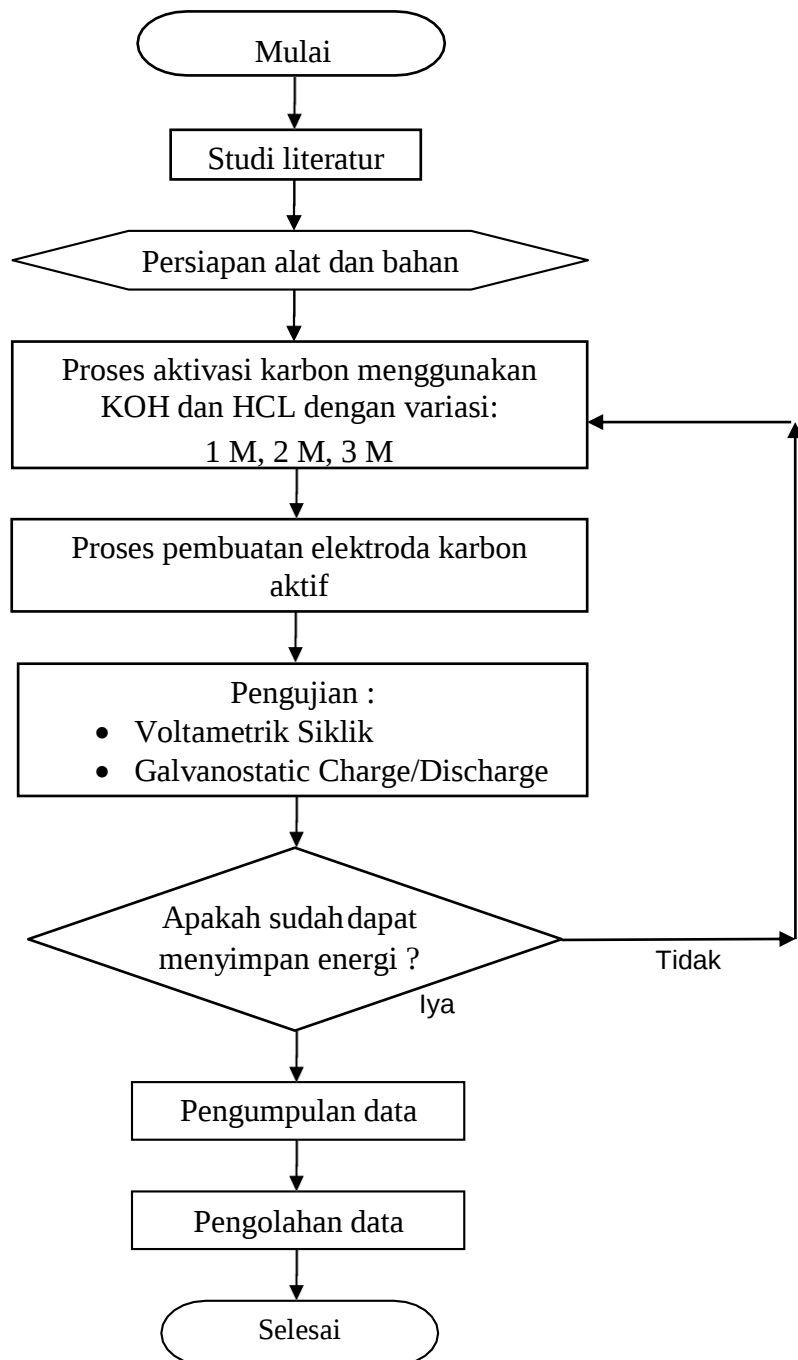
Pengujian galvanostatic dilakukan dengan menggunakan corrttest CS350 untuk mengetahui besar tegangan saat pengisian dan pengosongan superkapasitor dan menghitung waktu yang dibutuhkan selama proses pengisian dan pengosongan superkapasitor.

Pengujian dilakukan dengan Langkah Langkah berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan menghidupkan perangkat corrttest CS350 dan personal computer
2. lalu menghubungkan kutub positif pada superkapasitor dengan kabel elektroda kerja dan kutub negative dengan kabel elektroda pendukung dan referens.
3. Kemudian membuka aplikasi CS studio kemudian pilih eksperimen lalu pilih baterai test lalu pilih galvanostatis discharge/charge
4. Lalu pada bagian parameter experiment isi data yang diperlukan sesuai yang diinginkan dalam pengujian pada pengujian ini peneliti menggunakan batas atas 1.2 V dan batas bawah sebesar 0 V dengan scan rate 10 mV/s dengan jumlah siklus 5 siklus selama pengujian.
5. Lalu memulai pengujian. Hasil pengujian kemudian di fitting dengan menggunakan software CS studio untuk mengeksport tabel dan data hasil kalkulasi dari hasil pengujian.

2.5 Flowchart Penelitian

Sistematika dari penelitian ini dapat kita tinjau pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 24. Flowchart penelitian