

THESIS

**PENGARUH IRRADIASI MICROWAVE PLASMA PADA KARBON
AKTIF DAN GRAFIT TERHADAP SIFAT ELEKTROKIMIA
ELEKTRODA PENYIMPAN ENERGI**



**Oleh:
ALDI M.
D022 22 2006**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

THESIS
PENGARUH IRRADIASI MICROWAVE PLASMA PADA KARBON
AKTIF DAN GRAFIT TERHADAP SIFAT ELEKTROKIMIA
ELEKTRODA PENYIMPAN ENERGI

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Disusun Dan Diajukan Oleh :

ALDI M.

D022222006

kepada

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

LEMBAR PENGESAHAN**THESIS****PENGARUH IRRADIASI MICROWAVE PLASMA PADA KARBON AKTIF DAN
GRAFIT TERHADAP SIFAT ELEKTROKIMIA ELEKTRODA PENYIMPAN ENERGI**

Yang disusun dan diajukan oleh

ALDI M.

D022222006

Telah dipertahankan didepan panitia ujian thesis pada tanggal 15 Oktober 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
NIP. 19711221 199802 1 001

Dosen Pembimbing II



Azwar Havat, ST., M.Sc., Ph.D
NIP. 19840126 201212 1 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli,
ST., MT., IPM., ASEAN, Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program studi magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT
NIP. 197911122008122002

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pengaruh Irradiasi Microwave Plasma Pada Karbon Aktif Dan Grafit Terhadap Sifat Elektrokimia Elektroda Penyimpan Energi” adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing Prof.Dr.Eng.Andi Erwin Eka Putra, ST., MT sebagai Pembimbing Utama dan Azwar Hayat, ST., MT., P.hD sebagai Pembimbing Pendamping. 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 dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal sebagai artikel .Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis 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 tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 04 oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kekuatan, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ***“Pengaruh Irradiasi Microwave Plasma Pada Karbon Aktif Dan Grafit Terhadap Sifat Elektrokimia Elektroda Penyimpan Energi”***. Penyusunan thesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bimbingan serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan thesis ini. Penulis juga sangat menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa kerja keras penulis dan bantuan orang-orang terdekat yang selalu memberikan berbagai macam dukungan dan masukan demi kelancaran thesis ini. Atas alasan itu pula penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih:

1. Kepada Orang tua penulis, Bapak Mustaming dan Ibu Hasni, terimah kasih atas semua kasih sayang, doa yang tidak pernah putus. Kalian adalah semangat penulis dalam menyelesaikan studi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Syahid ST., MT selaku ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
3. Bapak Prof.Dr.Eng.Andi Erwin Eka Putra,ST.,MT. selaku pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Azwar Hayat ,ST.,MT., P.hD. selaku pembimbing II Tugas Akhir
5. Ibu Dr.Eng Novriany Amaliyah,ST.,MT selaku penguji.
6. Bapak Dr.Eng Hairul Arsyad ,ST.,MT. selaku penguji.
7. Segenap Dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Saudara-saudara seperjuangan penulis Reactor 2018 yang sudah menjadi tim pendukung paling hebat yang selalu ada dalam suka maupun duka.
9. Himpunan mahasiswa mesin yang telah menjadi tempat untuk bermain dan belajar penulis
10. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini. Senantiasa Allah SWT selalu memberikan kebahagiaan bagi kita semua.

Sebagai manusia biasa tentunya penulis masih memiliki banyak kekurangan pengetahuan dan pengalaman pada topik yang diangkat dalam Skripsi ini, begitu pula dalam penulisannya yang masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat senang jika menerima berbagai masukan dari pada pembaca baik berupa kritik maupun saran yang sifatnya membangun demi penyempurnaan penulisan skripsi di masa yang akan datang. Terima kasih

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Gowa, Agustus 2024

Penulis

ABSTRAK

Penggunaan energi terbarukan dalam menghasilkan listrik beberapa tahun terakhir diperkirakan dapat menyaingi penggunaan bahan bakar fosil dalam hal emisi gas buang yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan Sistem penyimpanan energi yang terus berkembang, terutama pada elektroda. Elektroda menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi penyimpanan energi. Biomassa adalah bahan dari alam yang dapat dimanfaatkan dalam menghasilkan carbon yang dapat dimanfaatkan sebagai elektroda pada superkapasitor. Hal ini menjadi potensi untuk mengembangkan material elektroda penyimpan energi. Dalam penelitian ini, peneliti akan fokus pada material elektroda menggunakan karbon aktif dan grafit. Kemudian dengan memanfaatkan plasma MW dalam cairan sebagai proses dekomposisi untuk menghasilkan material dengan performa yang lebih baik. Waktu yang dibutuhkan untuk menyinari plasma MW bervariasi dari 1, 2, dan 3 menit dalam larutan karbon aktif NaOH. Selain itu, Nikel sebagai kolektor arus, NaOH sebagai elektrolit, dan membran PTFE sebagai pemisah digunakan untuk sifat elektrokimia superkapasitor. Elektroda dikarakterisasi dengan analisis SEM dan XRD dan mengukur performa dari elektroda menggunakan Corrtest CS350. Hasil penelitian ini menunjukkan karakteristik elektroda yang berbeda. Morfologi permukaan diidentifikasi, menunjukkan pori-pori yang lebih besar dan mereduksi carbon. Kapasitansi optimal diperoleh dalam elektor NaOH 2 molar. Elektroda grafit memiliki densitas energi yang lebih besar dari elektroda karbon aktif . namun elektroda grafit memiliki power densitas yang lebih rendah dari elektroda karbo aktif.

Kata kunci: Microwave plasma, karbon aktif, grafit, CV, GCD

ABSTRACT

The use of renewable energy in generating electricity in recent years is expected to rival the use of fossil fuels in terms of exhaust emissions produced. This is because energy storage systems continue to develop, especially on electrodes. Electrodes are one of the factors that affect energy storage. Biomass is a material from nature that can be utilized in producing carbon that can be used as electrodes in supercapacitors. This is a potential to develop energy storage electrode materials. In this study, researchers will focus on electrode materials using activated carbon and graphite. Then by utilizing MW plasma in liquid as a decomposition process to produce materials with better performance. The time required to irradiate the MW plasma varies from 1, 2, and 3 minutes in NaOH activated carbon solution. In addition, Nickel as current collector, NaOH as electrolyte, and PTFE membrane as separator were used for the electrochemical properties of the supercapacitor. The electrodes were characterized by SEM and XRD analysis and measured the performance of the electrodes using Corrtest CS350. The results of this study showed different electrode characteristics. The surface morphology was identified, showing larger pores and reduced carbon. Optimal capacitance was obtained in a 2 molar NaOH elector. The graphite electrode has a greater energy density than the activated carbon electrode, but the graphite electrode has a lower power density than the activated carbon electrode.

Keywords: Microwave plasma, activated carbon, graphite, CV, GCD

DAFTAR ISI

THESIS	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4.Batasan Masalah	3
1.5.Manfaat Penelitian	3
1.6Landasan teori	4
1.6.1 Karbon aktif.....	4
1.6.2 Grafit	5
1.6.3 Penyimpanan energi	6
1.6.4 Plasma microwave	8
1.6.5 Analisis elektrokimia.....	8
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....	11
2.1.Waktu dan Tempat Penelitian.....	11
2.2.Alat dan Bahan Penelitian.....	11
2.3.Metode Penelitian	16
2.4.Pelaksanaan Penelitian	16
2.4.1 Plasma grafit dan karbon aktif.....	16
2.4.2 Persiapan elektroda	17
2.4.3 Proses pembuatan elektroda karbon.....	17
2.4.4 Persiapan separator	18
2.4.5 Persiapan case coin cell.....	18

2.4.6 Assembly komponen superkapasitor.....	19
2.4.7 Pengujian XRD.....	19
2.4.8 Pengujian voltametric siklik	20
2.4.9 Pengujian galvanostatic discharge/charge	20
2.4.10 Flowchart Penelitian	22
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	24
3.1 Densitas.....	24
3.2 Analisis SEM (<i>Scanning Elektron Microscopy</i>)	24
3.2.1 Elektroda karbon aktif	24
3.3 Analisis XRD (X-Ray Diffraction)	28
3.3.1 Elektroda karbon aktif.....	28
3.4 voltametri siklik.....	30
3.4.1 karbon aktif.....	30
3.4.2 grafit	33
3.4.3 metode pengujian elektroda superkapasitor.....	36
3.4.4 Variasi kolektro arus.....	37
3.4.4 Variasi elektrolit.....	37
3.5 Galvanostatic discharge/charge.....	38
3.5.1 Karbon aktif	38
3.5.2 Grafit	41
BAB V KESIMPULAN	46
DAFTAR PUSTAKA	47
Lampiran	51
Lampiran 1 proses penelitian	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 2 pengujian voltametric siklik.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 3 Hasil pengujian galvanostatic charge/discharge	54
Lampiran 4 hasil analisis XRD	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 perbedaan struktur grafit dan grafena (Jayakaran et al., 2019).....	5
Gambar 2 Alat pembangkit plasma	11
Gambar 3 Corrtest CS350	12
Gambar 4 oven.....	12
Gambar 5 Magnetic stirrer	13
Gambar 6 gelas ukur	13
Gambar 7 karbon aktif.....	14
Gambar 8. grafit.....	14
Gambar 9. larutan NaOH	15
Gambar 10. plat nikel	15
Gambar 11. Coin cell case.....	16
Gambar 12. proses Treatment nikel selama 30 menit dengan suhu 60°C	17
Gambar 13. Proses pembuatan elektroda karbon	17
Gambar 14. Elektroda karbon hasil kompaksi karbon.....	18
Gambar 15. Assembly komponen superkapasitor	19
Gambar 16. Flowchart Penelitian	23
Gambar 17. grafik densitas karbon aktif dan grafit terhadap waktu irradasi plasma	24
Gambar 18. Elektroda karbon aktif (1) tanpa plasma (2) plasma 1 menit (3) plasma 2 menit (4) plasma 3 menit (a) permukaan (b) patahan	25
Gambar 19. elektroda karbon aktif (1) tanpa plasma (2) plasma 1 menit (3) plasma 2 menit (4) plasma 3 menit (a) permukaan (b) patahan	27
Gambar 20. Spektrum XRD karbon aktif dan karbon aktif (plasma)	29
Gambar 21. spektrum XRD elektroda grafit dan grafit plasma	30
Gambar 22. voltmogram karbon aktif (a) elektrolit 1 molar, (b) elektrolit 2 molar, dan (c) elektrolit 3molar	32
Gambar 23. kapasitansi elektroda karbon aktif.....	33
Gambar 24. voltmogram grafit (a) elektrolit 1 molar, (b) elektrolit 2 molar, dan (c) elektrolit 3molar	35
Gambar 25. kapasitansi elektroda grafit.....	35
Gambar 26. kapasitansi elektroda karbon aktif dan grafit.....	36
Gambar 27. kapasitansi elektroda karbon aktif dan grafit degan variasi kolektor arus.....	37

Gambar 28. kapasitansi elektroda karbon aktif dan grafit dengan variasi elektrolit	38
Gambar 29. galvanostatic charge/discharge karbon aktif (a) elektrolit 1 molar, (b) elektrolit 2 molar ,dan (c) elektrolit 3molar	39
Gambar 30. energi density elektroda karbon aktif	40
Gambar 31. power density elektroda karbon aktif	40
Gambar 32. galvanostatic charge/discharge elektroda grafit (a) elektrolit 1 molar, (b) elektrolit 2 molar ,dan (c) elektrolit 3molar	43
Gambar 33. Energi density elektroda grafit	43
Gambar 34. power density elektroda grafit.....	44
Gambar 35. diagram plot energi storage elektroda karbon aktif dan grafit dengan elektrolit 3 molar	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 proses penelitian	51
Lampiran 2 pengujian voltametric siklik	53
Lampiran 3 hasil analisis XRD	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dunia dan telah membawa pengaruh besar pada hampir seluruh sektor kehidupan. Kebutuhan energi di Indonesia yang masih bergantung pada bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batubara, dan gas bumi sebagai sumber energi listrik telah berpengaruh pada dampak terhadap pencemaran udara dan akan berdampak terhadap mutu kehidupan dan kesehatan Masyarakat

Penggunaan energi terbarukan dalam menghasilkan listrik beberapa tahun terakhir diperkirakan dapat menyaingi penggunaan bahan bakar fosil dalam hal emisi gas buang yang dihasilkan. (Grgur, 2023). Kebijakan-kebijakan yang mengharuskan penggunaan energi terbarukan dalam menghasilkan listrik serta kemajuan teknologi dalam bidang elektronik mengakibatkan kebutuhan energi portable turut meningkat Namun tantangan selanjutnya adalah salah satu piranti penyimpanan energi adalah baterai memiliki kekurangan dari segi waktu proses pengisian dan masa pakai serta density power yang dihasilkan terbatas. (Zhong et al., 2023)

Salah satu hal yang mempengaruhi suatu elektroda penyimpan energi adalah material aktif dan collector arus yang digunakan, collector arus pada elektroda harus memiliki sifat yang dapat membantu kinerja piranti penyimpanan energi (baterai, superkapasitor) agar kinerja yang dihasilkan lebih maksimal. salah satu material yang sekarang ini banyak tersedia di Indonesia adalah nikel. Nikel memiliki sifat konduktivitas listriknya yang tinggi, kapasitas secara teoritis yang tinggi, dengan kemampuan transfer muatan yang cepat, pergerakan reaksi yang baik, dan cadangan bumi yang melimpah. (Sun et al., 2023)

Material yang digunakan pada baterai saat ini adalah material yang dapat menghasilkan limbah B3 dimana hal ini dapat menjadi masalah pengolahan limbah kedepannya dalam penggunaan baterai sebagai piranti penyimpanan energi. (Qi et al., 2020)

Biomassa adalah bahan dari alam yang dapat dimanfaatkan dalam menghasilkan carbon yang dapat dimanfaatkan sebagai elektroda pada superkapasitor. (Saputra et al., 2023). Di Indonesia sangat banyak tersedia biomassa, Namun dalam pemanfaatannya sangat kurang di manfaatkan bahkan dalam beberapa biomassa tidak dimanfaatkan atau terbuang, salah satu biomassa yang memiliki potensi tersebut adalah tempurung kelapa. (Chopngam et al., 2021)

Tempurung kelapa banyak tersedia di Indonesia namun dalam pemanfaatannya masih kurang dimanfaatkan. Tempurung kelapa memiliki serat yang keras yang dapat diubah menjadi karbon dengan pori mikro sehingga dapat menjadi alternatif sebagai karbon untuk elektroda penyimpanan energi.

Keuntungan karbon aktif elektroda superkapasitor berbasis biomassa yaitu dapat menghasilkan struktur pori alami, mudah diperoleh karena ketersediaan melimpah, dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan karbon aktif yang dihasilkan dari bahan lain serta memiliki serat hemiselulosa dan selulosa yang memiliki struktur carbon yang lebih banyak. (Taer et al., 2022)

dalam penelitian nur adi syahputra “pemanfaatan biomassa mejadi elektroda superkapasitor” menjelaskan bahwa elektroda superkapasitor berbasis karbon aktif memiliki potensi ideal untuk dikembangkan. Atribut inheren karbon aktif, sifat pori dan gugus fungsi, bertanggung jawab dalam peningkatan kinerja superkapasitor. (Prayogatama & Kurniawan, 2022)

Berdasarkan penelitian tersebut, menggunakan biomassa sebagai material aktif yang dapat digunakan pada superkapasitor. Namun dalam penelitian yang telah dilakukan, ada kekurangan dalam menghasilkan elektroda superkapasitor, yaitu metode aktivasi carbon biomassa yang terbatas. (Ramachandran et al., 2023)

Metode aktivasi carbon yang umum sekarang ini adalah aktivasi menggunakan kimia dan fisik, aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan larutan asam dengan konsentrasi tertentu. Dalam proses aktivasi secara kimia ada beberapa hal yang harus diperhatikan untuk menghasilkan bahan karbon aktif yang baik, seperti waktu perendaman, konsentrasi aktivator dan ukuran bahan .

Aktivasi fisika dilakukan pada temperatur tinggi, yaitu berkisar antara 500 – 1000°C. Massa karbon aktif paling banyak dihasilkan pada temperatur 500°C sebesar 103,63 gram. Hal ini terjadi karena kandungan air dan zat organik yang belum banyak teruapkan, namun untuk perlakuan aktivasi fisika yang paling baik terjadi pada temperatur 1000°C karena kualitas karbon aktif yang baik (Ghanashyam & Jeong, 2019) .

Dalam penelitian Kuptajit dkk memunculkan hal baru dengan metode aktivasi menggunakan plasma radiasi secara CVD dengan menambahkan gas nitrogen untuk menghasilkan elektroda yang mampu menyimpan energi yang lebih besar (Kuptajit et al., 2021). Carbon dengan perlakuan plasma diikuti oleh penambahan nitrogen ke karbon memberikan efek yang efektif dan positif terhadap kinerja elektrokimia dari superkapasitor.

Dalam metode aktivasi tersebut pori yang dihasilkan belum maksimal sehingga perlu diteliti lebih dalam untuk menghasilkan pori yang lebih baik dan dapat meningkatkan kinerja elektroda. dalam beberapa kasus hasil pori yang dihasilkan dapat di modifikasi agar sifat dan stuktur pori yang dihasilkan lebih maksimal.

Modifikasi plasma menyebabkan karbon berpori hierarkis (mesopore rate, 68.16%) dengan porositas berkembang baik ($3198 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$; $V_t, 2,211 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$) dan struktur kimia yang diperkaya oksigen (oksigen konten, 33,43%). Karakteristik ini memastikan kapasitas penyimpanan energi tinggi dan kemampuan laju superkapasitor yang disiapkan, yang menunjukkan kapasitansi spesifik tertinggi $254,6 \text{ F g}^{-1}$ at $0,5 \text{ A g}^{-1}$ dengan tingkat retensi 75,6% pada 10 A g^{-1} . yang diperoleh hasil mengkonfirmasi potensi besar dari microwave dan metode modifikasi plasma untuk mendapatkan biaya rendah karbon berpori untuk aplikasi superkapasitor berkinerja tinggi (Chen et al., 2019)

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh irradiasi plasma terhadap perubahan struktur karbon aktif dan grafit?
2. Bagaimana pengaruh irradiasi plasma terhadap perubahan sifat elektrokimia elektroda karbon aktif dan grafit?
3. Bagaimana perubahan kapasitansi pada elektroda karbon aktif dan grafit?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk menganalisis pengaruh plasma terhadap perubahan struktur karbon aktif dan grafit.
2. Untuk menganalisis pengaruh plasma terhadap perubahan sifat elektrokimia karbon aktif dan grafit.
3. Untuk menganalisis pengaruh plasma terhadap perubahan capasitansi pada elektroda karbon aktif dan grafit

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah karbon aktif dan grafit.
2. Menggunakan nikel sebagai collector arus
3. Elektrolit yang digunakan adalah NaOH 1 molar, 2 molar, 3 molar.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman tentang pembuatan penyimpanan energi, karakteristik penyimpanan eneri dan Sebagai bahan referensi bagi peneliti pengembangan pengetahuan tentang penyimpanan energi.

1.6 Landasan teori

1.6.1 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 berbentuk bubuk lebih sukar ditangani. Karbon berbentuk butiran dapat diaktifkan kembali 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 perkembangan 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.

Luas permukaan karbon aktif yang tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan berbagai agen pengaktifan, misalnya, agen aktivasi gas zat pengaktif kimia seperti seng kalium hidroksida (KOH) (Sreńscek-Nazzal & Kielbasaa, 2019)

Dalam memperoleh permukaan yang tinggi area karbon aktif secara konvensional, bahan karbon harus dicampur agen aktivasi dan dipanaskan pada suhu tinggi selama beberapa jam atau beberapa hari (Chen et al., 2019)

Waktu aktivasi yang lama menjadi suatu permasalahan dalam proses produksi karbon aktif untuk dioperasikan dalam sistem batch, dan menyebabkan kesulitan mempertahankan produksi skala besar. Oleh karena itu, mengaktifkan proses harus membutuhkan waktu yang lama untuk startup dan shutdown, masalah ini dapat diatasi jika periode aktivasi dapat dipersingkat, salah satu yang dapat dilakukan adalah mengubah proses aktivasi karbon aktif dari sistem batch ke sistem kontinyu untuk menghasilkan karbon aktif.

Dalam beberapa penelitian Y. Itaya menjelaskan microwave-induced plasma telah digunakan untuk memodifikasi struktur

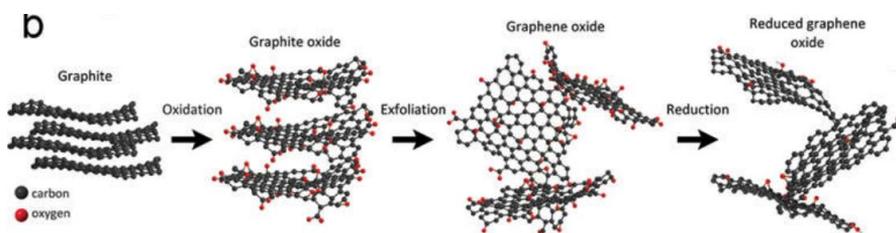
permukaan karbon aktif. Diinduksi gelombang mikro plasma dapat dibuat dengan memberikan radiasi microwave ke bahan penghantar listrik dengan struktur khusus seperti logam dengan bahan karbon berpori. Dalam kasus karbon berpori, dapat memfasilitasi generasi plasma karena elektron dapat dibuang dalam struktur mikro (Itaya et al., 2019).

1.6.2 Grafit

Grafit merupakan bentuk material karbon berlapis banyak dan bertumpuk serta amorphus yang didalamnya banyak terkandung unsur lain selain karbon, utamanya oksigen dan hidrogen. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa tumpukan banyak grafit ini ialah graphene yang saling berikatan sekunder (secondary bonding) yakni ikatan Van der waals. Apabila grafit ini diberi perlakuan oksidasi maka akan terjadi penambahan jumlah oksigen yang mengakibatkan meregangnya ikatan Van der waals, material ini disebut dengan GO (*Graphene Oxide*). Selanjutnya diperoleh material rGO (*reduced Graphene Oxide*) sebagai hasil dari reduksi atom - atom oksigen dan hidrogen, sehingga terdapat ikatan yang kosong akan oksigen.

Bubuk grafit yang teroksidasi dan diselengi dengan potasium dan terkelupas bila potassium atom bereaksi dengan HCl. Serbuk karbon yang disintesis telah dimodifikasi dengan komposit NiO/rGO dan dibuat menjadi elektroda superkapasitor.

Secara visual grafit, GO, dan rGO dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 perbedaan struktur grafit dan grafena (Jayakaran et al., 2019)

Graphite dengan perlakuan plasma diikuti oleh penambahan nitrogen ke *Graphite* memberikan efek yang efektif dan positif terhadap kinerja elektrokimia dari superkapasitor (Ghanashyam and Jeong, 2019)

Berbeda dengan bahan karbon seperti graphene, grafit tereduksi/graphene oksida. Grafit oksida (GO) tidak dianggap sebagai bahan aktif yang kuat untuk aplikasi penyimpanan energi. Namun dalam Penelitian M.S. Arsha mengusulkan pendekatan berkelanjutan untuk mengembangkan superkapasitor energi tinggi dan kepadatan daya menggunakan grafit oksida (GO) bahan aktif, yaitu lapisan bebas pengikat, berhasil menghasilkan sebuah kesimpulan bahwa pendekatan pada penelitian tersebut memiliki potensi yang signifikan untuk mengembangkan superkapasitor dengan kepadatan energi tinggi menggunakan GO, yang dapat diterapkan secara praktis di berbagai bidang (Arsha & Biju., 2023). Grafit dengan luas permukaan tinggi adalah jenis material yang diperoleh dengan penggilingan grafit secara ekstensif. Selain luas permukaannya lebih besar dan porositas dibandingkan grafit konvensional, Grafit dengan luas permukaan tinggi mempertahankan beberapa sifat menarik yang melekat pada grafit seperti listrik tinggikan konduktivitas termal, ketahanan kimia terhadap korosi, stabilitas termal, pelumasan, kepadatan rendah dan kekuatan mekanik yang baik (Tamargo-Martínez et al., 2022).

1.6.3 Penyimpanan energi

Superkapasitor adalah kapasitor elektrokimia yang memiliki rapat energi yang tinggi yaitu antara 10 sampai 100 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 (Vitto et al., 2023).

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 (Wawrzyńczak et al., 2019)

Superkapasitor memiliki keseimbangan antara energi dan daya listrik yang disimpan dengan waktu charge/discharge relatif

singkat. Superkapasitor dapat menggantikan baterai karena sifatnya yang mampu bertahan lama meskipun digunakan berkali-kali serta mempunyai kemampuan mengisi ulang dengan cepat. Kebutuhan waktu yang singkat dalam pengisian ulang ini menyebabkan superkapasitor mempunyai potensi yang besar dibandingkan baterai. Hal ini disebabkan karena baterai harus mengubah energi kimia menjadi energi listrik agar energi dapat tersimpan sedangkan superkapasitor tidak seperti itu (Kumar et al., 2024).

Superkapasitor memiliki sifat yang melengkapi kekurangan dari baterai dan kapasitor konvensional. Baterai memiliki rapat energi yang sangat tinggi, namun memiliki rapat daya yang sangat rendah. Sedangkan kapasitor konvensional pada umumnya memiliki rapat daya yang sangat tinggi namun rapat energinya sangat rendah. Superkapasitor menghasilkan rapat daya yang tinggi serta rapat energi yang tinggi.

Elektroda karbon yang banyak digunakan untuk superkapasitor adalah elektroda yang memiliki struktur nanopori. Nanopori merupakan karbon aktif yang memiliki pori-pori dalam skala nanometer, banyaknya pori yang terdapat pada nanopori karbon menyebabkan permukaan menjadi besar. Nanopori karbon juga memiliki kinerja lain yaitu mudah diproduksi, mudah terpolarisasi, stabil terhadap senyawa asam atau basa. Kinerja yang dihasilkan nanopori karbon berkaitan dengan energi dan daya. Nanopori karbon dihasilkan melalui komposisi sumber karbon dan proses aktivasi secara fisika melalui pemberian gas maupun aktivasi kimia

Kapasitor merupakan perangkat elektronika yang dapat menyimpan energi atau muatan listrik. Secara umum struktur kapasitor terdiri dari dua plat konduktor yang berlawanan muatan, yang diletakkan pada jarak tertentu dan dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan dielektrik adalah bahan isolator yang digunakan sebagai pemisah diantara keping kapasitor misalnya kertas, gelas, keramik, mika dan lain-lain yang berfungsi untuk memperlemah medan listrik antara keping-keping suatu kapasitor, molekul-molekul dalam dielektrik dapat menghasilkan medan listrik tambahan yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar.

Baterai ZnAg memiliki kepadatan energi dan daya yang sangat baik tetapi mengalami masa pakai yang pendek dan biaya yang sangat tinggi sehingga hanya cocok untuk aplikasi skala sangat kecil. Sistem ZnMn juga memiliki hidup relatif singkat tetapi lebih baik dalam hal biaya - biaya ini menjadi tinggi ketika mencoba untuk memberikan daya tinggi dan skala telah terbatas. Sel bahan bakar menawarkan alternatif pembakaran, memiliki energi tinggi dan kinerja daya dan telah melihat beberapa aplikasi komersial ke tingkat jaringan skala besar

penyimpanan/generasi. Sayangnya, mereka tetap berada di tanah yang goyah, seperti bahan kimia logam-udara, sebagai akibatnya rentang hidup mereka yang buruk, biaya tinggi dan potensi suhu operasi yang tinggi. (Raut et al., 2024)

1.6.4 Plasma microwave

Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Pada prinsipnya, karena proses ionisasi membutuhkan energi dalam orde elektron volt untuk melepas elektron, maka dalam membuat plasma harus ditambahkan energi dalam suatu sistem. Penambahan ini bisa dilakukan dengan osilator gelombang mikro (RF) pada ruangan bertekanan rendah.

Mekanisme pelepasan plasma dalam cairan (terkhusus air) dapat diklasifikasikan ke dalam dua bagian. Bagian pertama mempertimbangkan bahwa plasma atau pelepasan listrik dalam air dimulai dari proses terbentuknya gelembung dan proses elektronik yang terjadi dalam gelembung. Sementara itu bagian kedua, prosesnya dimulai dari pelepasan sebagian dan berkembang sampai pelepasan penuh.

Sesuai pendekatan dari bagian pertama, proses gelembung dimulai dengan gelembung kecil yang terbentuk melalui penguapan cairan dari pemanasan akibat medan listrik yang tinggi pada daerah ujung elektroda. Di dalam gelembung akan terjadi proses elektronika yang mengionisasi atom gas sehingga timbul plasma.

Hal tersebut menunjukkan bahwa plasma oksigen bertekanan rendah adalah efisien secara lingkungan dan bahan kering untuk membersihkan terjadi di bawah 3 menit paparan atau memfungsikan secara kimia terjadi di bawah paparan 10 menit (Tamargo-Martínez et al., 2022).

Elektron bebas dalam plasma bertabrakan dengan molekul gas yang menyampaikan energi eksitasi lebih tinggi dari energi disosiasi ikatan. Ini membantu dalam memecahkan yang kuat ikatan kovalen dan pembentukan spesies kimia baru pada kondisi reaksi ringan. sistem CVD microwave-plasma, gelombang mikro memicu pemutusan ikatan CH dalam metana (CH₄) membentuk plasma gas hidrogen. Radikal karbon bebas sehingga disimpan membuat kristal berlian dan film berlian ultrafine (Liu et al., 2022)

1.6.5 Analisis elektrokimia

Cyclic Voltammetry (CV) adalah suatu pengukuran menentukan nilai kapasitansi spesifik sel elektrokimia dari material karbon dengan laju scan konstan dari potensial awal sampai potensial akhir (Aderyani et al., 2021)

Bentuk kurva tersebut berhubungan dengan perilaku kapasitor

sel SuperKapasitor Pengukuran Cv dilakukan pada potensial 0-500mV dan potensial 0-1000 terhadap elektroda referensi untuk menguji karakteristis elektrokimia dari elektroda yang dihasilkan (Mohd Abid Et Al., 2020). Kapasitansi Spesifik (Csp) adalah kemampuan dari suatu elektroda untuk menyimpan muatan pada tegangan potensial tertentu persatu massa.

Karakteristik suatu material elektroda memengaruhi nilai kapasitansi spesifik. Besarnya nilai kapasitansi spesifik bergantung pada karakteristik material elektroda terutama pada luas permukaan volume dan luas pori semakin besar kapasitansi yang dihasilkan maka daya dan energy juga akan semakin (Navashree & Parthasarathy, 2023).

Cyclic Voltammetry merupakan teknik voltametri dimana arus yang diukur selama penyapuan (scanning) potensial dari potensial awal ke potensial akhir kembali lagi kepotensial awal yang disebut 1 siklus. Dengan demikian arus katodik dan anodik dapat diukur. Prinsip dari cyclic Voltammetry adalah melihat hubungan potensial yang diberikan dan arus yang terukur karena melibatkan reaksi redoks diantara anoda dan katoda. Reaksi kedua elektroda tersebut dimonitor besarnya arus yang timbul pengukuran arus listrik dilakukan dengan rentang potensial awal dan akhir yang sama. Grafik cyclic voltammetry biasa disebut voltamogram siklik

Capasitansi spesifik dapat dihitung menggunakan persamaan (Pilz & Kielb, 2023):

$$C_{sel} = \frac{\int IdV}{\Delta V \times m}$$

$$C_{sP} = \frac{2 \times C_{sel}}{m}$$

di mana :

$\int IdV$ adalah luas yang dihitung dari kurva voltametric siklik

ΔV adalah potensial

V_s adalah scan rate yang digunakan dalam pengujian

m adalah rata-rata massa bahan aktif dalam elektroda.

Galvanostatic Charge/Discharge (GCD) (juga disebut Constant Pengisian/Pengosongan) saat ini sering digunakan untuk mengevaluasi sistem dan bahan penyimpanan energi, seperti yang terlibat dalam elektrokimia kapasitor (EC). GCD melibatkan penerapan konstanta positif dan arus negatif untuk mengisi dan melepaskan bahan / sistem dalam satu siklus. Teknik pelepasan muatan galvanostatik digunakan untuk menganalisis kinerja elektrokimia elektroda pada superkapasitor (Licht et al., 2020).

Pengujian XRD dilakukan untuk melihat perubahan struktur yang terjadi setelah melakukan prose plasma pada karbon aktif dan grafit. Metode yang digunakan metode difraktometri serbuk ialah untuk mencatat difraksi sampel polikristal. Pada analisis struktur material berbasis bahan alam ini, digunakan alat difraktometer, yang prinsip kerjanya. Sampel serbuk dengan permukaan rata dan mempunyai ketebalan yang cukup untuk menyerap alur sinar-X yang menuju keatasnya. Puncak-puncak difraksi yang dihasilkan dengan menggunakan alat pencacah. Umumnya menggunakan pencacah Geiger dan sintilasi. Alat monitor dapat diputar mengelilingi sampel dan diatur pada sudut 2° terhadap alur datang. Alat monitor diijarkan supaya sumbunya senantiasa melalui dan bersudut tepat dengan sumbu putaran sampel. Intensitas sinar-X yang difraksi sebagai fungsi sudut 2° .

Peralatan yang digunakan adalah XRD. Hasil difraksi sinar-x dicetak pada kertas dengan sumber pancaran radiasi Cu Ka dan dengan filter nikel. Data difraksi sinar-X daripada sampel kemudian dibandingkan dengan kartu JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction Standard). Dari nilai difraksi sinar-X yang menghasilkan intensitas dan sudut difraksi, dianalisis untuk menentukan jenis struktur kristalnya dengan mencocokkan pada data ICSD (Inorganic Crystal Structure Database) untuk semua sampel yang di uji.

Informasi yang dapat diperoleh dari data difraksi sinar X ini yaitu: (1) Posisi puncak difraksi memberikan gambaran tentang parameter kisi (a), jarak antar bidang (d_{hkl}), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan; (2) intensitas relatif puncak difraksi memberikan gambaran tentang posisi atom dalam sel satuan; (3) bentuk puncak difraksi memberikan gambaran

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

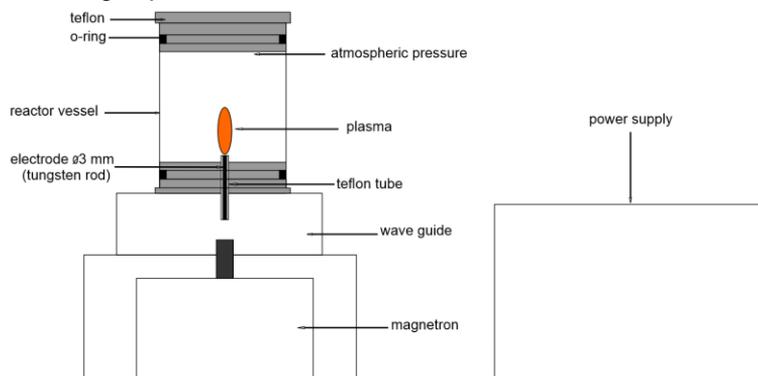
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dengan metode *experimental laboratory* ini dimulai pada bulan agustus 2023 dan tempat pelaksanaannya di Laboratorium motor bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembangkit plasma 2,45 GH



Gambar 2 Alat pembangkit plasma

Pada perancangan alat pembangkit 2.45 GHz plasma, digunakan microwave generator sebagai sumber energi membangkitkan plasma dalam cairan. Microwave generator ini menggunakan gelombang mikro berfrekuensi 2,45 GHz. Gelombang tersebut dapat digunakan sebagai pembangkit plasma.

Power supply digunakan untuk meningkatkan daya ke magnetron
Komponen dari pembangkit plasma :

1. Magnetron sebagai sumber gelombang mikro
2. Elektroda tungsten untuk menyalurkan gelombang mikro yang dihasilkan magnetron
3. Teflon tube sebagai bahan dielektrik dari elektroda tungsten
4. Wave guide sebagai wadah transfer gelombang mikro dari magnetron ke elektroda tungsten
5. Reactor vessel sebagai wadah dari material yang akan di iradiasikan microwave plasma

2. Corrtest CS350



Gambar 3 Corrtest CS350

Corrtest CS350 digunakan untuk menguji kapasitansi elektroda dengan memberikan arus dan voltage dengan range yang disesuaikan secara otomatis dengan menggunakan elektroda *ag/agcl* dan elektroda *counter* platina, dari percobaan ini akan diperoleh data besarnya arus untuk setiap laju tegangan. Data tersebut digunakan dan pengujian voltametric siklik untuk menentukan kapasitansi elektroda.

3. Oven



Gambar 4 oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sampel setelah plasma dan setelah proses kompaksi dilakukan, suhu yang digunakan adalah 60 °C selama 3 jam

4. Magnetic stirrer



Gambar 5 Magnetic stirrer

Magnetic stirrer digunakan untuk mencampur bahan secara merata, putaran yang digunakan adalah 100 rpm tanpa menyalakan heat dari *stirrer*

5. Gelas ukur



Gambar 6 gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur banyaknya cairan yang dicampurkan dan sebagai wadah untuk melakukan proses pengadukan

6. Karbon aktif



Gambar 7 karbon aktif

Karbon aktif digunakan sebagai bahan dasar dari elektroda dengan berbahan dasar tempurung kelapa dengan ukuran mesh 500

7. Grafit



Gambar 8. grafit

Grafit digunakan sebagai bahan dasar dari elektroda dari bahan batuan alam dengan ukuran mesh 375

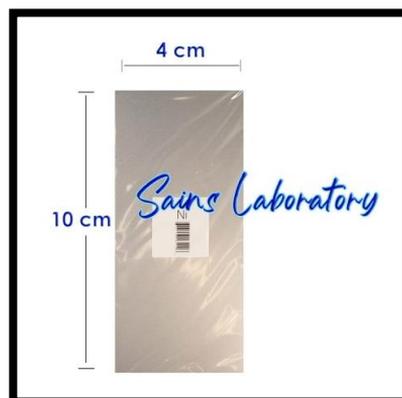
8. Larutan NaOH



Gambar 9. larutan NaOH

Larutan NaOH digunakan Sebagai elektrolit, NaOH yang digunakan adalah berupa butiran atau serbuk agar dapat molaritas dapat disesuaikan dengan yang dibutuhkan

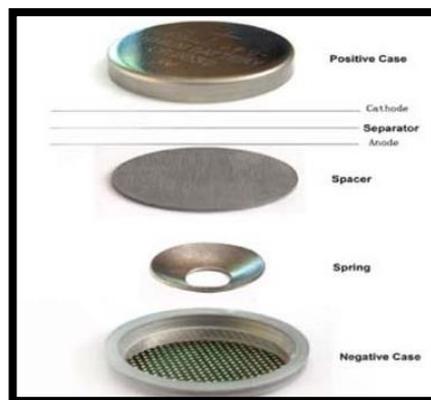
9. Plat nikel



Gambar 10. plat nikel

Plat nikel digunakan Sebagai pengumpul arus dari penyimpan energi dengan ketebalan 0.3 mm

10. Coin cell case



Gambar 11. Coin cell case

Coin cell case digunakan untuk menggabungkan komponen untuk membentuk superkapasitor

2.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi laboratorium, yaitu dengan mengambil data menggunakan alat pengujian.

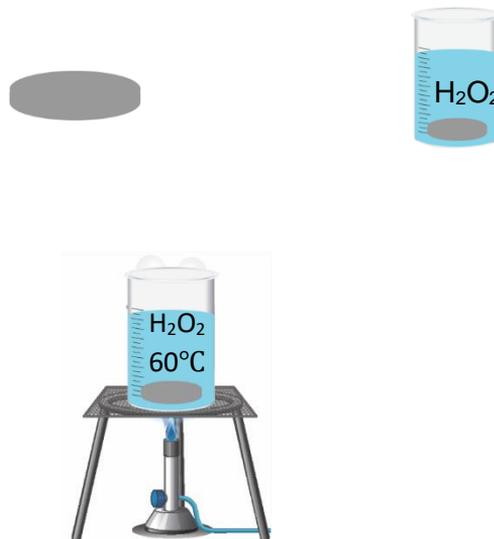
2.4. Pelaksanaan Penelitian

2.4.1 Plasma grafit dan karbon aktif

Grafit dan karbon aktif sebagai elektroda diberikan perlakuan dengan plasma untuk mengoptimasi butiran grafit dan karbon aktif dengan mencampur grafit maupun karbon aktif dengan larutan NaOH 1 M kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit lalu melakukan proses plasma selama 3 menit. Kemudian larutan dicuci menggunakan aquades sebanyak 3 kali lalu dikeringkan di dalam oven dengan

suhu 150 celcius selama 6 jam, hasil endapan tersebut kemudian dikompaksi.

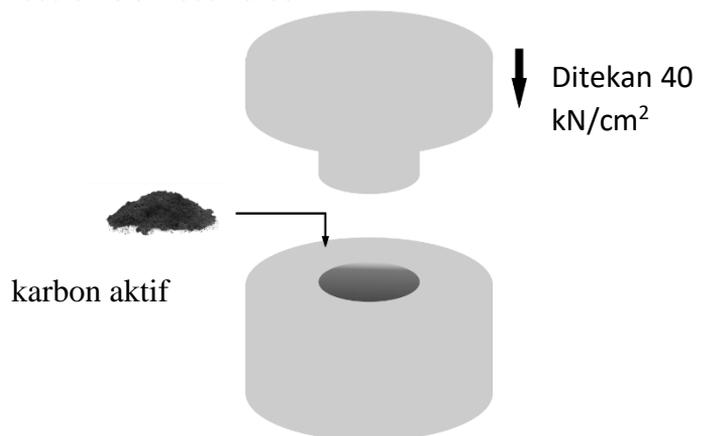
2.4.2 Persiapan elektroda



Gambar 12. proses Treatment nikel selama 30 menit dengan suhu $60^\circ C$

Elektroda nikel sebagai pengumpul arus diberi perlakuan agar permukaan nikel bersih dari kotoran agar pada saat proses pemasangan tidak ada kotoran yang dapat mempengaruhi proses pengujian.

2.4.3 Proses pembuatan elektroda karbon



Gambar 13. Proses pembuatan elektroda karbon

Elektroda carbon dibuat dari karbon aktif dan grafit dengan media plat nickel sebagai pengumpul arus pada elektroda . Elektroda carbon dibuat dengan mencampur antara karbon dan binder (PTFE) kemudian di aduk sambil panaskan dengan suhu 150°C dengan waktu 30 menit hasil campuran tersebut kemudian di kompaksi dengan tekanan 7 ton (68.646 kPa) agar membentuk plat elektroda



Gambar 14. Elektroda karbon hasil kompaksi karbon

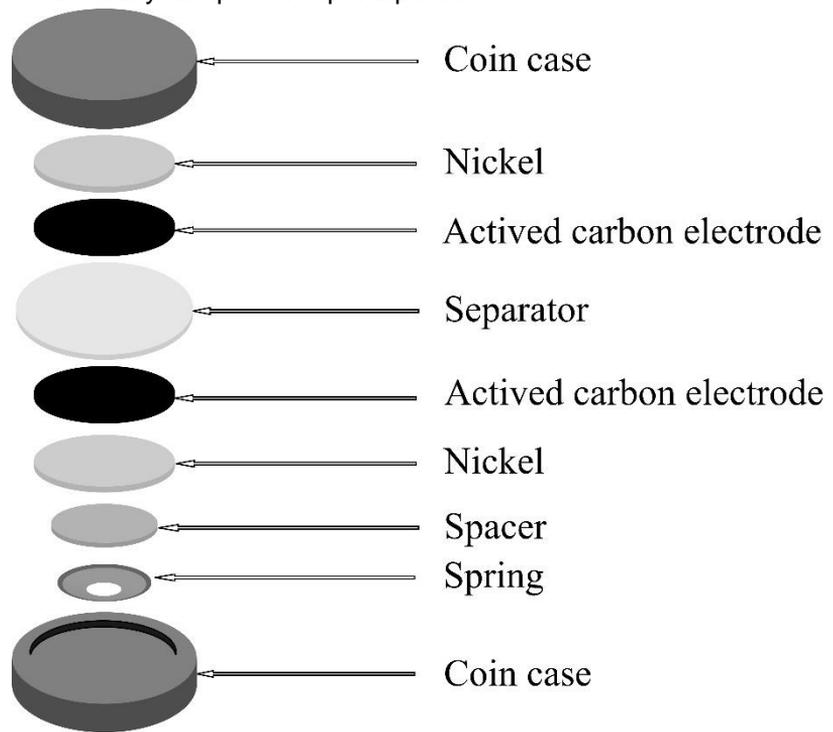
2.4.4 Persiapan separator

Separator pada penelitian ini menggunakan membrane PTFE membrane dengan ketebalan $130\text{-}200\ \mu\text{m}$, ukuran pori $0.2\text{-}0.22\ \mu\text{m}$. PTFE di bentuk sesuai dengan bentuk elektroda karbon untuk memisahkan antara katoda dan anoda superkapasitor

2.4.5 Persiapan case coin cell

Case coin cell yang digunakan adalah case coin yang sudah siap digunakan untuk mengabung komponen yang diperlukan untuk membuat superkapasitor. Case coin dipisahkan berdasarkan komponen lalu di gabung dengan elektroda karbon dan separator yang telah dipersiapkan.

2.4.6 Assembly komponen superkapasitor



Gambar 15. Assembly komponen superkapasitor

Elektroda yang telah dibuat sebelumnya kemudian di satukan dengan menggunakan case coin cell kemudian akan diuji untuk menghitung kapasitansi dari superkapasitor.

2.4.7 Pengujian XRD

Pengujian XRD yang digunakan adalah SHIMADZU Maxima X-7000 dengan parameter operasi arus dan tegangan masing-masing 40 mA dan 40 kV pada target Cu 3,5 C/menit

Pengujian xrd dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penyiapan sampel, sampel yang akan di analisis disiapkan
2. Melakukan coating pada sampel, sampel yang akan dianalisis kemudian di coating menggunakan cu
3. Meletakkan sampel pada mesin XRD, sampel yang telah di coating selanjutnya di letakkan pada tempat pemindaian pada mesin XRD
4. Analisis data, hasil pemindaian yang dilakukan kemudian

di analisis

2.4.8 Pengujian voltametric siklik

Pengujian voltametric siklik dilakukan dengan menggunakan corrttest CS350 untuk mengetahui kapasitansi pada cell elektroda karbon aktif dan grafit.

Pengujian dilakukan dengan Langkah Langkah berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu mempersiapkan sample superkapasitor yang telah dibuat, kemudian menyambungkan superkapasitor dengan kabel tembaga agar dapat dihubungkan dengan alat corrttest CS350.
2. Setelah Pengujian dilakukan dengan menghidupkan perangkat corrttest CS350 dan personal computer.
3. lalu menyambungkan sample superkapasitor ke perangkat corrttest CS350.
4. Membuka aplikasi CS studio pada perangkat computer lalu kemudian pilih eksperiment lalu pilih voltametri lalu pilih voltametri siklik,
5. Lalu pada bagian parameter experiment isi data yang diperlukan sesuai yang diinginkan dalam pengujian, pada pengujian ini peneliti menggunakan batas atas 1.0 V dan batas bawah sebesar -0.2 V dengan scan rate 10 mV/s dengan jumlah siklus 10 siklus selama pengujian.
6. Lalu pada bagian set up pilih cell lalu isi data berupa densitas luas area elektroda yang digunakan pada pengujian dan jenis elektroda referens yang digunakan yaitu ag/agcl serta jenis elektrolit yang digunakan.
7. Lalu tekan start untuk memulai pengujian.

Hasil pengujian kemudian di fitting dengan menggunakan software CS studio untuk mengeksport tabel dan data hasil kalkulasi dari hasil pengujian.

2.4.9 Pengujian galvanostatic discharge/charge

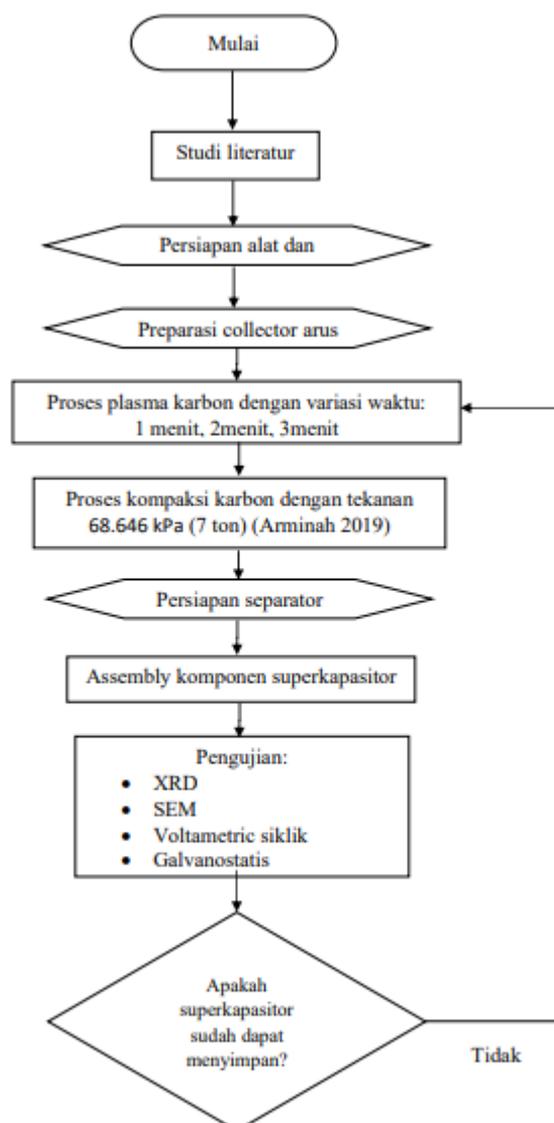
Pengujian galvanostatic dilakukan dengan menggunakan corrttest CS350 untuk mengetahui besar tegangan saat pengisian dan pengosongan superkapasitor dan menghitung waktu yang dibutuhkan selama proses pengisian dan pengosongan superkapasitor.

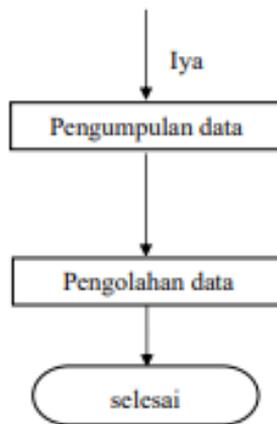
Pengujian dilakukan dengan Langkah Langkah berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu mempersiapkan sample superkapasitor yang telah dibuat, kemudian menyambungkan superkapasitor dengan kabel tembaga agar dapat dihubungkan dengan alat corrtest CS350.
2. Setelah Pengujian dilakukan dengan menghidupkan perangkat corrtest CS350 dan personal computer.
3. lalu menyambungkan sample superkapasitor ke perangkat corrtest CS350.
4. Kemudian membuka aplikasi CS studio kemudian pilih eksperiment lalu pilih baterai test lalu pilih galvanostatis discharge/charge
5. Lalu pada bagian parameter experiment isi data yang diperlukan sesuai yang diinginkan dalam pengujian, pada pengujian ini peneliti menggunakan batas atas 0.9 V dan batas bawah sebesar 0.1 V dengan scan rate 10 mV/s dengan jumlah siklus 10 siklus selama pengujian.
6. Lalu memulai pengujian.

Hasil pengujian kemudian di fitting dengan menggunakan software CS studio untuk mengekspor tabel dan data hasil kalkulasi dari hasil pengujian.

2.4.10 Flowchart Penelitian





Gambar 16. Flowchart Penelitian