

**SKRIPSI**

**VARIASI ELEKTROLIT TERHADAP KAPASITANSI ELEKTRODA GRAFIT  
DAN KARBON AKTIF**

**Disusun dan diajukan oleh:  
VITHO VALERIE PALEBANGI  
D01191130**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
SULAWESI SELATAN  
GOWA 2024**

**SKRIPSI**

**VARIASI ELEKTROLIT TERHADAP KAPASITANSI ELEKTRODA GRAFIT DAN KARBON**

**AKTIF**

**VITHO VALERIE PALEBANGI**

**D021191130**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 16 Oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada



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

Mengesahkan:

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT  
NIP 19770707 200511 1 001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT  
NIP 19770707 200511 1 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vitho Valerie Palebangi  
NIM : D021 19 1130  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Variasi Elektrolit Terhadap Kapasitansi Elektroda Grafit dan Karbon Aktif”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

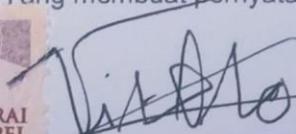
Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



  
Vitho Valerie Palebangi

## ABSTRAK

**VITHO VALERIE PALEBANGI**, *Variasi Elektrolit Terhadap Kapasitansi Elektroda Grafit dan Karbon Aktif* (dibimbing oleh Andi Erwin Eka Putra)

Pada era global, isu energi menjadi fokus utama dengan peningkatan kebutuhan sistem penyimpanan energi yang efisien dan ramah lingkungan. Superkapasitor, dengan kemampuan menyimpan dan melepaskan energi secara cepat serta siklus hidup yang panjang, muncul sebagai alternatif potensial dibandingkan baterai konvensional. Material elektroda dan jenis elektrolit memainkan peran krusial dalam kinerja superkapasitor. Grafit dan karbon aktif adalah dua material elektroda utama dengan karakteristik unik yang mempengaruhi kapasitansi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi elektrolit terhadap kapasitansi elektroda grafit dan karbon aktif. Elektrolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah NaOH, KCl, dan KOH dengan konsentrasi 2 molar. Metode yang digunakan mencakup pengujian Voltametri Siklik dan Galvano Charge/Discharge (GCD) untuk mengukur kapasitansi spesifik, densitas energi, dan densitas daya elektroda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi elektrolit memberikan pengaruh signifikan terhadap kapasitansi elektroda. NaOH memberikan kapasitansi spesifik tertinggi pada elektroda grafit, sementara KOH menunjukkan performa terbaik pada elektroda karbon aktif. KCl memberikan hasil kapasitansi yang moderat pada kedua jenis elektroda. Kombinasi optimal dari material elektroda dan elektrolit dapat meningkatkan efisiensi dan stabilitas superkapasitor.

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi penyimpanan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, mendukung transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Temuan ini dapat diaplikasikan dalam berbagai sektor, termasuk elektronik portabel, kendaraan listrik, dan sistem energi terbarukan

**Kata Kunci:** Kapasitansi, grafit, karbon aktif, NaOH, KOH, KCl.

## ABSTRACT

**VITHO VALERIE PALEBANGI**, *Electrolyte Variations on the Capacitance of Graphite and Activated Carbon Electrodes* (Supervised by Andi Erwin Eka Putra)

In the global era, energy issues have become the main focus with the increasing need for energy storage systems that are efficient and environmentally friendly. Supercapacitors, with their ability to store and release energy quickly and long cycle life, are emerging as a potential alternative to conventional batteries. Electrode material and electrolyte type play crucial roles in supercapacitor performance. Graphite and activated carbon are two primary electrode materials with unique characteristics that affect capacitance.

This research aims to analyze the effect of electrolyte variations on the capacitance of graphite and activated carbon electrodes. The electrolytes used in this research were NaOH, KCl, and KOH with a concentration of 2 molar. The methods used include Cyclic Voltammetry and Galvano Charge/Discharge (GCD) testing to measure the specific capacitance, energy density and power density of the electrode.

The results showed that variations in electrolyte had a significant influence on electrode capacitance. NaOH provides the highest specific capacitance on graphite electrodes, while KOH shows the best performance on activated carbon electrodes. KCl provides moderate capacitance results on both types of electrodes. The optimal combination of electrode material and electrolyte can improve the efficiency and stability of supercapacitors.

This research contributes to the development of more efficient and environmentally friendly energy storage technologies, supporting the transition to cleaner and more sustainable energy sources. These findings can be applied in a variety of sectors, including portable electronics, electric vehicles, and renewable energy systems

**Keywords:** Capacitance, graphite, activated carbon, NaOH, KOH, KCL.

## DAFTAR ISI

SKRIPSI .....	I
GESAHAN .....	I
PERNYATAAN KEASLIAN .....	III
ABSTRAK .....	IV
DAFTAR ISI .....	VI
DAFTAR GAMBAR .....	VIII
DAFTAR TABEL .....	IX
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	X
KATA PENGANTAR .....	XI
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. RUMUSAN MASALAH .....	4
1.3. TUJUAN PENELITIAN .....	4
1.4. BATASAN MASALAH .....	4
1.5. MANFAAT PENELITIAN .....	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN .....	6
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 KARBON AKTIF .....	7
2.2 GRAFIT .....	8
2.3 PENYIMPANAN ENERGI .....	8
2.4 CYCLC VOLTAMMETRY .....	9
2.5 SUPERKAPASITOR .....	10
2.6 KAPASITOR .....	13
2.7 BATERAI .....	14
2.8 PLASMA MICROWAVE .....	15
2.9 <i>GALVANO CHARGE/DISCHARGE (GCD)</i> .....	17
2.10 TEMPERATUR THERMAL SHOCK .....	17
2.11 ELEKTROKIMIA .....	19
2.12 SEJARAH BATERAI .....	21
2.13 <i>CORTEST CS350</i> .....	23

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN .....	24
3.1	WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN .....	24
3.2	ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....	25
3.3	METODE PENELITIAN .....	34
3.4	PELAKSANAAN PENELITIAN .....	34
3.5	FLOWCHART PENELITIAN .....	38
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	PENGATURAN SEL ELEKTRODA .....	39
4.2	PENGUJIAN CYCLIC VOLTAMMETRY .....	40
4.3	EFISIENSI GALVANOSTATIC CHARGE DISCHARGE .....	44
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN .....	50
5.1.	KESIMPULAN.....	50
5.2.	SARAN .....	51
DAFTAR PUSTAKA	.....	52
LAMPIRAN	.....	56

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b> Corrtest CS350 .....	25
<b>Gambar 3. 2</b> Oven .....	25
<b>Gambar 3. 3</b> Magnetic Stirrer.....	26
<b>Gambar 3. 4</b> Gelas Ukur .....	26
<b>Gambar 3. 5</b> Karbon Aktif .....	27
<b>Gambar 3. 6</b> Grafit .....	27
<b>Gambar 3. 7</b> Larutan NaOH.....	28
<b>Gambar 3. 8</b> Larutan KCL.....	28
<b>Gambar 3. 9</b> Larutan KOH.....	29
<b>Gambar 3. 10</b> Pompa Hidrolik Manual .....	29
<b>Gambar 3.11</b> Coin Separator.....	30
<b>Gambar 3. 12</b> Separator .....	30
<b>Gambar 3. 13</b> Plat Nikel.....	31
<b>Gambar 3. 14</b> Plat Aluminium .....	31
<b>Gambar 3. 15</b> Aquades.....	32
<b>Gambar 3. 16</b> Wadah Penyimpanan.....	32
<b>Gambar 3. 17</b> Cetakan.....	33
<b>Gambar 3. 19</b> Elektroda Karbon Hasil Kompaksi.....	35
<b>Gambar 3. 18</b> Proses Pembuatan Elektroda Karbon Menggunakan Metode Kompaksi.....	35
<b>Gambar 4. 1</b> Pengaturan Sistem Elektroda .....	39
<b>Gambar 4. 2</b> Pengaturan Pengujian Cyclic Voltametry .....	40
<b>Gambar 4. 3</b> Pengaturan Pengujian Galvanostatic Charging/Discharging.....	44

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Pengujian CV .....	41
<b>Tabel 4. 2</b> Nilai Kapasitansi Elektroda Grafit dan Karbon aktif .....	42
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Pengujian GCD .....	45
<b>Tabel 4. 4</b> Nilai Energi Pengujian GCD .....	46
<b>Tabel 4. 5</b> Nilai Power pengujian GCD.....	48

**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL**

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
C	Kapasitansi Spesifik	F/g
$\int IdV$	Luas Area Kurva	Volt
m	Massa	g
v	<i>Scan Rate</i>	mV/s
$\Delta E$	<i>Potential Window</i>	Volt
E	Densitas Energi	Wh/kg
P	Densitas Power	W/kg
t	Waktu	s

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang berjudul “**Variasi Elektrolit Terhadap Kapasitansi Elektroda Grafit Dan Karbon**”. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peran banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan masukan kepada penulis sehingga pada kesempatan ini penulis dengan kerendahan hati dan rasa hormat menghaturkan rasa terima kasih kepada orang tua penulis, Ayanhanda terkasih **Marthinus Z Palebangi** dan Ibunda tercinta **Debora Tiku Ampulembang**.

Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan serta bantuan selama penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. H. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT.** selaku pembimbing utama atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan hingga akhir penyusunan skripsi ini.
2. Ibu **Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT.** selaku dosen pembimbing kedua saya yang telah membantu dan memberi arahan kepada peneliti sehingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik
3. Ibu **Prof. Dr. Ir Zuryati Djafar, MT** dan Bapak **Ir. Andi Mangkau, MT.** selaku tim penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala ilmu dan bantuan selama penulis menjalani perkuliahan.
5. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin atas segala bantuan yang telah diberikan dalam pengurusan administrasi dan pengurusan lainnya selama penulis menjalani perkuliahan.
6. Saudara-saudara seperjuangan **BRUZHLEZZ'19** yang selalu ada menemani penulis dan juga menjadi tim support.
7. Keluarga Mahasiswa Kristen Oikumene (KMKO) yang menjadi tempat belajar dan berkarya selama masa-masa perkuliahan, terkhusus teman-

teman **GO DEEPER'19** dan **CYNOSURE'19** yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan, yang selalu ada dalam suka maupun duka.

8. Teman – teman, kakak senior serta junior seperjuangan Laboratorium Laboratorium *Internal Combustion* yang telah bersedia menemani dan membantu selama masa penelitian dan penyusunan skripsi.
9. Saudari yang saya sayangi **ANGEL CICYLIA PUTRI JACER** menjadi pelengkap dalam kisah penulis sebagai mahasiswa.
10. 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 jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun dari pembaca agar penyusunan selanjutnya lebih baik.

Gowa, 16 Oktober 2024

Penulis

## **BAB 1**

### **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, di mana 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). Oleh karena itu, dua komponen utama yang sangat berpengaruh terhadap kinerja superkapasitor adalah material elektroda dan elektrolit yang digunakan.

Material elektroda memiliki peran yang krusial dalam menentukan kapasitansi superkapasitor. Grafit dan karbon aktif adalah dua material elektroda yang paling banyak digunakan dalam aplikasi superkapasitor. Grafit, dengan struktur kristalnya yang teratur, menawarkan konduktivitas listrik yang sangat baik, memungkinkan aliran muatan yang efisien (Pandolfo, et al 2006). Di sisi lain, karbon aktif memiliki luas permukaan spesifik yang sangat besar serta tingkat porositas yang tinggi, yang memungkinkannya untuk menyerap lebih banyak ion dari elektrolit, sehingga meningkatkan kapasitansi (Simon P.,2008). Kombinasi kedua material ini dalam elektroda dapat memberikan performa yang optimal, namun hal ini sangat bergantung pada jenis dan sifat elektrolit yang digunakan.

Elektrolit adalah medium yang memungkinkan pergerakan ion antara elektroda dalam superkapasitor. Pilihan elektrolit sangat mempengaruhi kapasitansi, kestabilan, serta efisiensi energi dari superkapasitor. Elektrolit yang umum digunakan dalam superkapasitor mencakup elektrolit berbasis air, elektrolit organik, dan elektrolit ionik (Winter M., 2004). Elektrolit berbasis air memiliki keunggulan dalam hal konduktivitas ionik yang tinggi dan biaya yang rendah, namun dibatasi oleh tegangan operasi yang relatif rendah (Zhang S. S.,2006). Elektrolit organik, meskipun memiliki tegangan operasi yang lebih tinggi, seringkali lebih mahal dan memiliki konduktivitas ionik yang lebih rendah dibandingkan elektrolit berbasis udara (Balducci A. et al,2007). Sementara itu, elektrolit ionik, yang merupakan cairan ionik dengan kestabilan termal dan elektrokimia yang baik, semakin menarik perhatian sebagai alternatif yang dapat meningkatkan kinerja superkapasitor (Armand, M.et al,2009).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih dalam tentang pengaruh variasi elektrolit terhadap kapasitansi elektroda yang terbuat dari grafit dan karbon aktif. Dengan menguji berbagai jenis elektrolit dan mempelajari interaksi mereka dengan material elektroda, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif tentang mekanisme penyimpanan muatan dalam superkapasitor(Miller JR.,2008). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi material elektroda dan elektrolit 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).

Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya memiliki relevansi ilmiah dalam memahami interaksi antara elektrolit dan material elektroda, tetapi juga memiliki implikasi praktis yang luas dalam pengembangan teknologi penyimpanan energi masa depan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana variasi elektrolit mempengaruhi kapasitansi elektroda, kita dapat mengembangkan superkapasitor yang lebih efisien, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan aplikasi modern yang terus berkembang(Frackowiak E., et al,2006).

## 1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh jenis elektrolit terhadap kapasitansi spesifik elektroda karbon aktif dan grafit?
2. Bagaimana pengaruh jenis elektrolit terhadap densitas energi elektroda karbon aktif dan grafit ?
3. Bagaimana pengaruh jenis elektrolit terhadap densitas power elektroda karbon aktif dan grafit?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Untuk menganalisis pengaruh jenis elektrolit terhadap kapasitansi spesifik elektroda karbon aktif dan grafit.
2. Untuk menganalisis pengaruh jenis elektrolit terhadap densitas energi elektroda karbon aktif dan grafit.
3. Untuk menganalisis pengaruh jenis elektrolit terhadap densitas power elektroda karbon aktif dan grafit.

## 1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan dengan menggunakan material yang karbon aktif dan grafit berbentuk serbuk yang dikompaksi agar membentuk plat elektroda.
2. Penelitian ini menggunakan alat *corrtest CS350*.
3. Penelitian ini menggunakan elektrolit NaOH , KCL, dan KOH dengan molaritas yang di gunakan yaitu 2 molar.
4. Penelitian dilakukan menggunakan nikel dan aluminium sebagai kolektor arus.
5. Penelitian ini menggunakan pengujian *Cyclic Voltammetry* dan *Galvano discharge/charge*.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagi Penulis

1. Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
  2. Dapat mengaplikasikan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh semasa kuliah.
- b. Bagi Universitas:
1. Dapat dijadikan referensi bagi generasi – generasi Teknik Mesin yang akan datang dalam pembuatan dan penyusunan tugas akhir.

## **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.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 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 CO<sub>2</sub>, 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. Beberapa bahan yang dengan cepat dibiodegradasi sulit mengadsorp 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 400-2200 m<sup>2</sup>/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 – 2200 mg<sup>-1</sup>) (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).

## **2.2 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).

## **2.3 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.

## 2.4 Cyclic Voltammetry

(CV) atau Voltametri Siklik adalah suatu pengukuran menentukan nilai kapasitansi spesifik sel elektrokimia dari material karbon dengan laju pemindaian konstan dari potensial awal sampai potensial akhir (Skoog et al. 1995).

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 karakteristik elektrokimia dari elektroda yang dihasilkan (Kalpana et al, 2009). Kapasitansi Spesifik 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 energi juga akan semakin besar (Pandoifo et al, 2006).

Voltametri Siklik merupakan teknik voltametri dimana arus yang diukur selama penyapuan (*scanning*) potensial dari potensial awal ke potensial akhir kembali lagi ke potensial awal yang disebut 1 siklus. Dengan demikian arus katodik dan anodik dapat diukur. Prinsip dari voltametri siklik 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 voltametri siklik biasa disebut voltamogram siklik

(Maghfiroh, 2018).

## 2.5 Superkapasitor

Superkapasitor adalah kapasitor elektrokimia yang memiliki rapat energi yang tinggi yaitu antara  $10^6$  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 “*ultracapasitor*” (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 ( $\text{Wh kg}^{-1}$ ), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan seberapa cepat energi itu dapat disampaikan, diwakili oleh daya spesifik ( $\text{W kg}^{-1}$ ). 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 penambahan nilai

## 2.6 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 muatanmuatan 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 kapasitasbaterai 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: ( Woning,Paul. R, 2012)

## 2.7 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) sulfide sebagai katoda dan logam litium sebagai anoda. Proses interkalasi adalah proses perpindahan ion lithium dari anoda ke katoda dan sebaliknya pada baterai lithium ion. Pada tahun 1980, logam lithium pada anoda diganti dengan materail 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).

## **2.8 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 melepaskan 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

Proses microwave adalah suatu proses yang mengkonsumsi energi rendah dan proses yang cocok untuk pengembangan berbagai macam material dalam keadaan padat, cair, dan semi cair. Awalnya, energi microwave diaplikasikan secara terbatas untuk pengolahan makanan, perawatan kimia, dan produk biologis saja (Bhoi, Singh, Pratap, & Jain, 2019). Namun saat ini, Proses microwave telah banyak digunakan dalam proses sintesa ataupun manufaktur berbagai macam material.

Radiasi microwave dalam spektrum elektromagnetik berkisar dari 300 MHz hingga 300 GHz. Microwave terdiri dari komponen listrik dan magnetic. Microwave bergerak dengan cara yang sama seperti gelombang cahaya: Mereka dipantulkan oleh logam, diserap oleh beberapa material dielektrik, dan ditransmisikan melalui bahan lainnya tanpa terjadi kehilangan yang signifikan. Microwave digunakan dalam berbagai aplikasi seperti deteksi radar, telekomunikasi, pemrosesan makanan, perawatan medis, dll (Oghbaei & Mirzaee, 2010), berdasarkan tingkat frekuensi yang diterapkan.

Pemanasan microwave bergantung pada beberapa karakteristik produk (konduktivitas listrik, kadar air, dan sifat dielektrik) untuk memastikan pemanasan terjadi dengan cepat dan tanpa hambatan. Penggunaan energi gelombang mikro pada oven microwave termasuk ke dalam mekanisme perpindahan panas secara radiasi yang mana merupakan perpindahan panas dari suatu benda ke benda lainnya tanpa adanya kontak fisik. Kenaikan temperatur di dalam material selama proses pemanasan microwave disebabkan adanya agitasi molekul-molekul polar atau ion-ion yang bergerak diakibatkan oleh gerakan medan magnetic atau

elektrik. Gerakan medan magnetik atau elektrik menyebabkan partikel-partikel berusaha untuk berorientasi atau mensejajarkan dengan medan tersebut. Pergerakan partikel-partikel tersebut

dibatasi oleh gaya pembatas yang menyebabkan gerakan partikel tertahan dan menyebabkan gerakan acak sehingga menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan selanjutnya didistribusikan ke seluruh produk melalui konduksi dan konveksi. Hal ini membantu transfer energi secara homogen dan lebih cepat di dalam material yang mengarah pada proses hemat energi (Halkman, Yucel, & Halkman, 2004).

Ada dua komponen utama dari sistem microwave yaitu unit kontrol dan unit tegangan tinggi. Unit kontrol menyediakan media untuk memindahkan energi listrik ke unit tegangan tinggi di mana energi listrik diubah menjadi energi microwave. Bagian utama dari setiap sistem microwave dapat diberikan sebagai berikut (Bhoi, Singh, Pratap, & Jain, 2019):

1. Traic,
2. Transformator tegangan tinggi,
3. Tabung magnetron,
4. Pemandu gelombang, dan

Fungsi utama dari traic adalah membuat saluran yang diperlukan untuk aliran listrik dari sumber ke transformator tegangan tinggi. Transformator tegangan tinggi terbuat dari serangkaian unit kapasitor yang mengubah input yang disediakan menjadi tegangan tinggi. Setelah tegangan yang sangat tinggi terbentuk, tegangan disuplai ke tabung magnetron untuk diubah menjadi energi microwave. Energi microwave selanjutnya ditransmisikan ke rongga dengan cara bantuan pemandu gelombang. Waveguides mengarahkan energi microwave ke ruang terbatas dengan menyediakan saluran yang tepat (Halkman, Yucel, & Halkman, 2004).

Agar pemanasan seragam di dalam rongga microwave, meja putar digunakan untuk menjaga ketepatan interaksi material dan pola gelombang. Dengan desain yang tepat dari rongga resonansi, bahan penyerap yang buruk juga dapat dipanaskan dalam microwave. Penggunaan mode stirrer di rongga dapat memandu perubahan periodik pola gelombang. Turntable dan mode stirrer membantu meningkatkan pemanasan bahan di dalam rongga (Halkman, Yucel, &

Halkman, 2004).

Menurut interaksi dengan microwave, material diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu konduktor (logam dan paduan), isolator (leburan kuarsa, gelas, keramik, Teflon, dan polypropylene), dan peredam (larutan dan polar pelarut). Bahan-bahan, yang menyerap radiasi microwave, disebut dielektrik, biasanya ditandai dengan memiliki sedikit pembawa muatan bebas dan menunjukkan gerakan dipol, contohnya pelarut organik (Bhoi, Singh, Pratap, & Jain, 2019).

## **2.9 Galvano Charge/Discharge (GCD)**

*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. (Licht, F dkk 2020).

GCD merupakan salah satu metode pengukuran yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Superkapasitor dibebankan dan dilepaskan antara dua titik tegangan yang ditentukan pada arus konstan. Penyimpangan linieritas dapat terjadi akibat peningkatan tegangan tiap penambahan waktu, dengan resistansi seri yang menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) saat beralih dari pengisian daya ke pengosongan. Selain itu, degradasi elektrolit atau reaksi redoks lainnya akan menghasilkan plot kurva tinggi atau titik belok pada plot tegangan (Wang et al. 2010).

## **2.10 Temperatur Thermal Shock**

*Thermal shock* adalah proses pendinginan atau pemanasan suatu benda pada laju yang sangat cepat. Transisi temperatur terjadi dengan sangat cepat, lebih besar dari 15°C per menit atau melalui transfer langsung dari temperatur satu ruang ke yang ruang lain dengan temperatur berbeda. Perubahan temperatur yang cepat ini menyebabkan material mengalami perubahan volume atau mengembang dengan jumlah yang berbeda (Cronin, Kinsler, & Allen, 2016) . Tidak hanya untuk suatu pengujian saja, thermal shock juga digunakan dalam proses interkalasi dan ekspansi termal pada grafit. proses interkalasi dan ekspansi termal, reagen interkalasi yang mengandung gugus oksigen berikatan pada tepi dan pada lapisan

grafit, menghasilkan peningkatan jarak antar lapisan, tetapi tidak ada perubahan struktur utama heksagonal (Al-Hazmi F. , et al., 2015).

Kemudian dengan perlakuan *thermal shock*, senyawa yang dimasukkan di antara lapisan akan terdeposisi menjadi gas dan menghasilkan daya dorong, yang jauh lebih besar daripada kekuatan ikatan antar lapisan grafit. Dengan demikian, jarak lapisan akan semakin melebar, dan volume grafit akan puluhan hingga ratusan kali untuk berkembang, membentuk *expanded graphite* yang memiliki struktur dan property yang berbeda. Umumnya pada saat proses ekspansi selesai dilakukan, volume ekspansi bisa mencapai 100-300 kali dibandingkan sebelum ekspansi (Peng, Liu, Gao, Luo, & Sun, 2018).

Karena efisien dan mudah, proses *thermal shock* telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian contohnya adalah yang telah dilakukan Al-Hazmi, et al., pada 2015 menggunakan asam tartarat dan thermal shock dalam proses oksidasi dan interkalasi asam. Thermal shock pada 700°C selama 1 menit membantu interkalasi gugus oksigen dari asam tartarat pada grafit. Menurut laporan McAllister et al., pada saat pemanasan berlangsung, gugus oksigen yang beikatan pada karbon akan terdekomposisi menjadi gas seperti H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, ataupun CO, yang akan berdifusi di arah lateral. Pengelupasan terjadi jika laju dekomposisi gugus fungsi mampu melampaui laju difusi gas. Sehingga menciptakan tekanan pada antar lapisan yang cukup besar untuk mengalahkan gaya van der Waals dan mendorong lapisan untuk terpisah. Umumnya, temperatur minimum yang disarankan adalah 500°C untuk melakukan pengelupasan secara sempurna pada tekanan atmosfer.

Mekanisme ekspansi termal pada GIC masih menjadi bahan diskusi. Makhornin dkk, mengasumsikan bahwa jaringan karbon meluruh setelah penghilangan secara cepat dari sejumlah partikel interkalasi dari ruang interlayer pada grafit, dengan planes disekitarnya meluruh (Yakovlev, Finaenov, Zabud'kov, & Yakovleva, 2006).

Menurut pendapat Chung dkk dan Anderson dkk, proses ekspansi *thermal shock* grafit dianggap sebagai fase transisi yang disebabkan oleh penghapusan agen interkalasi dari GIC. Tingkat buih bergantung pada kondisi sintesis dan komposisi GIC yang dihasilkan, serta pada struktur dan ukuran partikel dari material karbon awal. (Yakovlev, Finaenov, Zabud'kov, & Yakovleva, 2006).

Selain pendapat tersebut, sering diasumsikan bahwa pemanasan secara cepat pada GIC menimbulkan tekanan (280-720 atm) diantara lapisan jaringan karbon pada grafit, dan tekanan ini memiliki efek pendispersi. *Deintercalation* pada grafit terjadi melalui tepi lapisan dan cacat yang ada, yang menyebabkan lapisan bergeser dan pecah. Pemanasan secara cepat menyebabkan terbentuknya struktur seperti busa. Peningkatan disperse dan cacat pada grafit menyebabkan penurunan tekanan interlayer internal dan akibatnya terjadi penurunan pada tingkat ekspansi (Yakovlev, Finaenov, Zabud'kov, & Yakovleva, 2006).

Menurut Yurkovskii dkk, ekspansi mulanya melibatkan pembelahan kristalit sepanjang sumbu-c menjadi paket pita tipis yang terdiri dari sejumlah kecil bidang atom, dengan deformasi simultan, untuk memberikan struktur terlipat 3D. Proses ini menghasilkan partikel yang berbentuk seperti cacing dan silinderdengan permukaan tertutup, dimana produk dekomposisi residual terkandung. Partikel berbentuk *wormlike* pada grafit disebabkan karena terbukanya jaringan planar karbon yang terjepit di permukaan tepi kristalit (Yakovlev, Finaenov, Zabud'kov, & Yakovleva, 2006).

Pada tahap thermal shock, terjadi penurunan berat pada specimen yang merupakan efek dari peningkatan temperature. Proses dekomposisi tersebut dapat terbagi menjadi 3 tahapan. Zat yang terurai pada tahap primer ini berupa molekul organik kecil dan air yang terabsorpsi. Pada tahap kedua, terjadi dekomposisi pada resin atau interkalasi, sekaligus dengan pengotor-pengotor yang ada, dan pada tahap terakhir adalah oksidasi dari grafit. Berat semua specimen sebelum pemanasan lebih besar daripada setelah pemanasan. Spesimen paling rentan mengalami kerusakan dikarenakan temperature tinggi dan tekanan yang besar (Jin, et al., 2019).

## **2.11 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

elektron 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 sebuah 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

a. Sel Kering Leclance 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 lenclance dikenal sebagai sel primer karena tidak dapat diisi kembali atau dengan kata lain reaksinya tidak dapat dibalik.

b. 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  $\text{PbSO}_4$  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  $\text{PbSO}_4$  akan membentuk Pb dan  $\text{PbO}_2$  lagi. Jadi dengan mengalirkan arus listrik dari luar dengan arah yang berlawanan, sel akan dapat digunakan lagi.

c. 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)

## 2.12 Sejarah Baterai

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).

Tumpukan volta dibuat dengan menumpuk piringan tembaga dan cakram seng secara berselingan dengan potongan karton yang dicelupkan dalam air garamditempatkan di antara kedua piringan tersebut. Tumpukan tersebut mampu menghasilkan arus listrik. Penemuan ini diakui sebagai baterai pertama yang menghasilkan arus listrik secara konsisten dan dapat diandalkan.

Selain berasal dari penemuan oleh fisikawan Italia, ternyata sejarah perkembangan baterai juga terjadi di Baghdad. Penemuan ini berawal ketika sebuah silinder tembaga diletakkan di tengah-tengah batang besi dalam larutan yang tidak diketahui. Larutan ini belakangan disebut elektrolit dan peristiwanya dikenal sebagai ionisasi larutan elektrolit (Yantoro, Dwi, 2019).

Baterai yang ditemukan di Baghdad merupakan salah satu artifak kuno yang paling membingungkan para ilmuwan maupun arkeolog. Pada tahun 1930 silam, pada sebidang makam kuno di luar Baghdad (Khujut Rabula), beberapa arkeolog yang melakukan penggalian di sana menemukan sebuah artifak yang diduga merupakan satu set baterai kimia yang usianya telah mencapai 2000 tahun lebih (Yantoro, Dwi, 2019).

Artifak aneh tersebut terdiri atas sebuah silinder tembaga, batang besi,

serta aspal yang disusun sedemikian rupa dalam sebuah jambangan kecil (tinggi 14 cm dan diameter 8 cm) yang terbuat dari tanah liat. Setelah para ahli mereka ulang, ternyata memang benar didapati bahwa artifak tersebut merupakan sebuah baterai elektrik kuno. Para peneliti berhasil memperoleh tegangan sebesar 1,5 volt dari artifak batu baterai elektrik tersebut, yang bekerja nonstop selama 18 hari dengan cara memasukkan cairan asam ke dalam jambangannya, misalnya air jeruk (sunkist atau lemon lebih bagus), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, serta semua larutan golongan elektrolit (Yantoro, Dwi, 2019).

Usia artifak baterai kuno ini diperkirakan berkisar 2.000 – 5.000 tahun, jauh sebelum Alessandro Volta (Italia) membuat baterai pertama kali pada tahun 1800 M serta Michael Faraday (Inggris) menemukan induksi elektromagnetik dan hukum elektrolisis pada tahun 1831 M yang jarak penemuannya hingga kini mencapai sekitar 200 tahun lebih. Temuan ini tentunya dapat mengubah pandangan manusia masa kini akan kemajuan teknologi yang telah dicapai oleh peradaban manusia masa lalu (Yantoro, Dwi, 2019).

Baterai *Nickel Cadmium (Ni-Cad)* yang merupakan baterai yang dibuat dari campuran *Nikel* dan *Cadmium*, diproduksi pertama kali setelah penemuan artifak batu baterai di Baghdad yang membuat perhatian dunia tertuju ke arah penelitian tentang pembuatan dan pengembangan baterai yakni pada tahun 1946. Namun memiliki kekurangan yakni ada pada biaya pembuatan yang mahal, kapasitas berkurang jika baterai tidak dikosongkan (*memory effect*), dan tidak ramah lingkungan (beracun). Kemudian pada tahun 1980, baterai *Nickel Metal Hydride (NiMH)* dikembangkan dengan kapasitas lebih besar dan tidak menggunakan senyawa kimia yang berbahaya bagi lingkungan (Yantoro, Dwi, 2019).

Namun, seiring dengan perkembangan teknologi, baterai ini dianggap kurang mampu menangani perangkat elektronik yang baru. Pada perkembangan selanjutnya adalah baterai *Lithium-Ion* yang ditemukan pertama kali tahun 1960 di Bell Labs. Baterai ini paling banyak digunakan untuk perangkat elektronik karena rasio energi dan berat paling baik, tanpa *memory effect* (bisa diisi ulang kapan saja), bentuk sangat fleksibel, ringan, dan kehilangan daya saat digunakan paling kecil. Namun sayangnya, kekurangan dari baterai ini adalah umur pakainya tergantung dari lamanya pembuatan dan seringnya frekuensi isi ulang. Maka dari itu, muncullah baterai *Lithium-Polymer* (Hadiwibowo dan Mahardika, 2011).

### **2.13 Cortest CS350**

Cortest CS350 adalah alat uji korosi tekanan tinggi yang dirancang untuk mensimulasikan kondisi lingkungan ekstrem di mana material dapat terpapar tekanan tinggi, suhu tinggi, dan agen korosif. Alat ini sangat berguna dalam menguji material untuk industri energi, khususnya dalam aplikasi di sumur minyak dan gas. CS pada nama Cortest CS350 merujuk pada *Corrosion System*, sementara angka 350 menunjukkan bahwa alat ini memiliki kapabilitas uji di lingkungan tekanan tinggi hingga 350 bar atau sekitar 5.000 psi. Alat ini memiliki kemampuan untuk beroperasi pada tekanan hingga 20.000 psi dan suhu tinggi lebih dari 200°C, memungkinkan simulasi yang realistis terhadap lingkungan bawah tanah atau laut dalam yang sangat korosi.

Kemampuan alat ini untuk melakukan pengujian tekanan tinggi dan suhu tinggi menjadikannya sangat ideal untuk pengujian korosi dalam kondisi yang menyerupai lingkungan operasional aktual. Dalam pengujian, spesimen material ditempatkan di dalam ruang uji yang dapat dikontrol, dan kemudian dilakukan pengujian menggunakan agen korosif seperti hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) atau air laut. Pengujian ini memungkinkan para insinyur material untuk memantau laju korosi dan mengevaluasi keausan material, serta mengevaluasi fenomena seperti *Stress Corrosion Cracking* (SCC), yang dapat menyebabkan kegagalan material secara tiba-tiba (Smith, J. A., & Brown, R. L., 2021)