

**SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF  
DARI AMPAS BIJI KOPI *ROBUSTA* DENGAN AKTIVATOR  
NAOH**

**TESIS**



Oleh :

**RIKARYALITA NOVITRA**

**1920412012**

**PEMBIMBING I : PROF. DR. HERMANSYAH AZIZ**

**PEMBIMBING II: PROF. DR. ERMAN TAER**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2021**

**SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF  
DARI AMPAS BIJI KOPI *ROBUSTA* DENGAN AKTIVATOR  
NAOH**

**RIKARYALITA NOVITRA**

**1920412012**



**Sebagai salah satu syarat untuk  
memperoleh Gelar Magister Pada Program Studi  
Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Andalas**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS**

**PADANG**

**2021**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Judul Tesis : Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dari Ampas Biji Kopi *Robusta* dengan Aktivator NaOH

Nama Mahasiswa : Rikaryalita Novitra

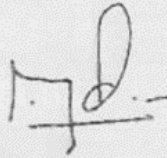
Nomor Pokok : 1920412012

Program Studi : Magister Kimia

Tesis telah diuji dan dipertahankan di depan sidang panitia ujian akhir Magister pada Program Studi MAGISTER KIMIA Jurusan Kimia FMIPA Universitas Andalas dan dinyatakan lulus pada tanggal 25 Agustus 2021.

Menyetujui,

Pembimbing I



Prof. Dr. Hermansyah Aziz  
NIP. 195301261979031002  
Ketua

Pembimbing II



Prof. Dr. Erman Taer  
NIP. 197109231995121002  
Anggota

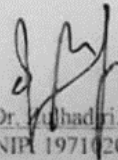
Mengetahui,

Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mai Efdi  
NIP. 197205301999031003

Ketua Program Studi  
MAGISTER KIMIA



Dr. Muthadri, M.Eng  
NIP. 197102051997021001

## HALAMAN PENGHARGAAN

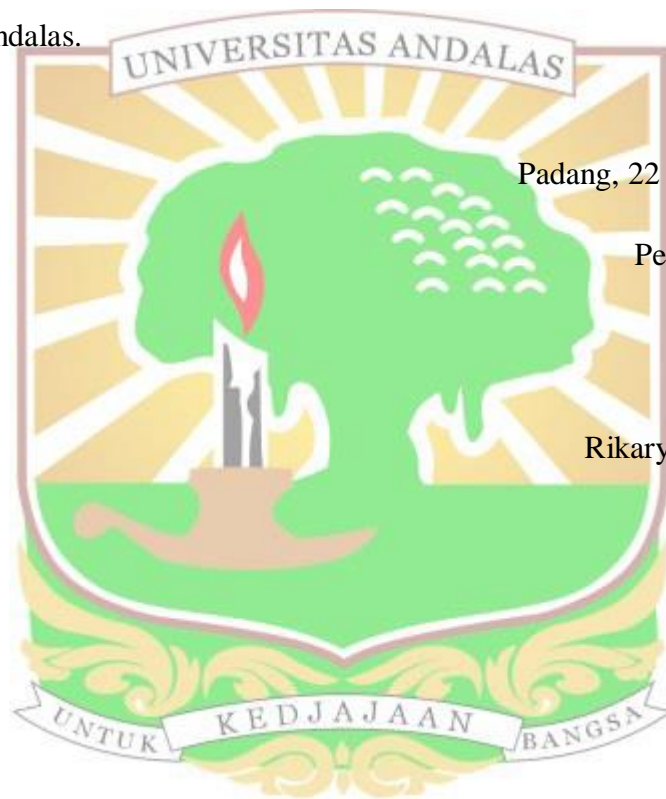
Dan perumpamaan-perumpamaan ini  
Kami buat untuk manusia, dan tiada  
yang memahaminya kecuali orang-orang  
yang berilmu

(Al-qur'an surat Al-An'kaabut ayat 43)



## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 18 November 1993 di Padang, dari Bapak Asril Rapas dan Ibu Neti Sumarni. Penulis menamatkan SD di SDN 08 Alang Lawas Padang Selatan pada tahun 2006, SMP di SMPN 4 Kota Padang pada tahun 2009, dan SMA di SMAN 6 Kota Padang pada tahun 2012. Penulis memperoleh gelar Ahli Madya pada tahun 2015 di Akademi Teknologi Industri Padang pada tahun 2015, Penulis memperoleh gelar Sarjana Kimia pada tahun 2018 di Universitas Negeri Padang dan memperoleh gelar Magister Kimia pada tahun 2021 di Universitas Andalas.



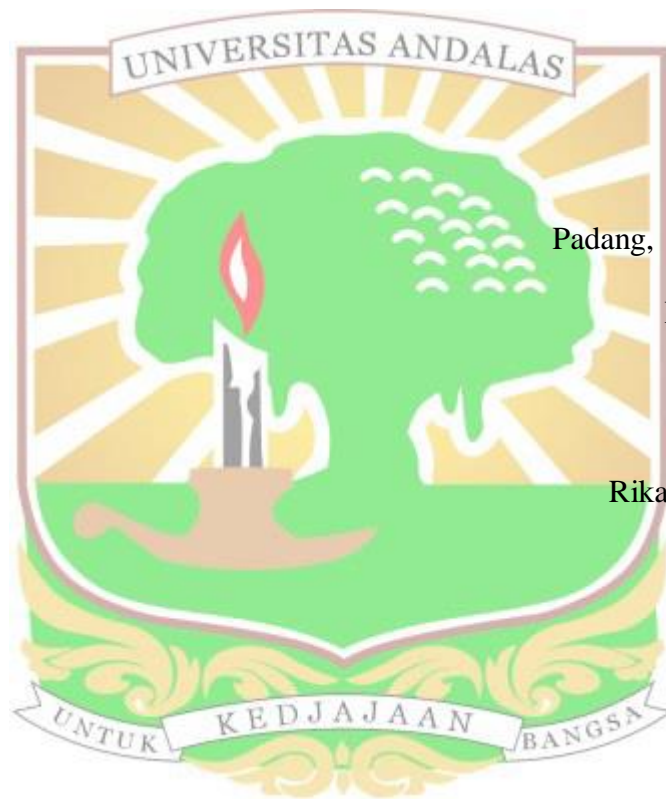
Padang, 22 Oktober 2021

Penulis

Rikaryalita Novitra

## HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya, Rikaryalita Novitra yang beralamat di Komp. Perumahan Cendana Mata Air blok p no 11 Padang, menyatakan bahwa dalam Tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kemaagisteran di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Padang, Oktober 2021

Penulis

Rikaryalita Novitra

## ABSTRAK

### SUPERKAPASITOR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF DARI AMPAS BIJI KOPI *ROBUSTA* DENGAN AKTIVATOR NAOH

Oleh :

Rikaryalita Novitra (1920412012)

Prof. Dr. Hermansyah Aziz\*, Prof. Dr. Erman Taer\*

\*Pembimbing

Karbon aktif dari ampas biji kopi telah dimanfaatkan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor. Pembuatan karbon aktif ini diaktivasi menggunakan NaOH, setelah itu dikarbonisasi menggunakan gas Nitrogen. Variasi konsentrasi NaOH yaitu 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M. Analisa sifat fisis dari ampas biji kopi robusta yang telah dilakukan yaitu analisa densitas, dimana penurunan densitas setelah karbonisasi-aktivasi berkisar antara 9% - 35%. Luas permukaan tertinggi dari elektroda karbon adalah  $739,911 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Karakterisasi elektroda karbon menggunakan EDX didapatkan unsur karbon sebesar 49,37%. Isotherm adsorpsi dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* adalah tipe IV yang menunjukkan bahwa struktur mesopori mendominasi karbon aktif pada ampas biji kopi. Kapasitansi spesifik menggunakan elektroda karbon dari ampas biji kopi *robusta* dengan metode *Cyclic voltammetry* (CV) yaitu pada konsentrasi 0,3 M dengan elektrolit 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar  $130 \text{ F/g}^{-1}$ . Pengujian menggunakan metode *Galvanostatic charge discharge* (GCD) diperoleh kapasitansi tertinggi pada konsentrasi 0,3 M menggunakan elektrolit 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah  $198,53 \text{ F/g}^{-1}$ . Dari penelitian ini didapatkan nilai kapasitansi yang tinggi, sehingga karbon aktif dari ampas biji kopi *robusta* bisa dimanfaatkan sebagai elektroda superkapasitor karena biaya yang murah dan ramah lingkungan.

**Kata kunci** : karbon aktif, ampas biji kopi, superkapasitor, aktivasi, pori karbon

**ABSTRACT**  
**Activated Carbon Based Supercapacitors Of**  
**Robusta Coffee Bean Dregs With NaOH Activators**

**By:**  
**Rikaryalita Novitra (1920412012)**  
**Prof. Dr. Hermansyah Aziz\*, Prof. Dr. Erman Taer\***  
**\*Advisor**

Activated Carbon from the dregs of coffee beans has been used as a material base of electrode supercapacitor. Manufacturing this activated carbon is activated using NaOH, after which it is carbonized using nitrogen gas. Variations in the concentration of NaOH are 0.2 M, 0.3 M, and 0.4 M. Analysis of IFAT carbon physical properties of the Robusta coffee beans dregs that has been done namely density analysis, where the decrease in density after carbonization-activation ranged from 9% - 35%. The highest surface area of the carbon electrode is  $739,911 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ . Characterization of electrode carbon using EDX obtained the element carbon amounted to 49.37%. Isotherm adsorption of activated carbon of Robusta coffee beans dregs is of type IV which indicates that the structure of mesoporous dominates activated carbon on bean coffee dregs. Specific capacitance use electrode carbon from the dregs of Robusta coffee beans with Cyclic voltammetry (CV) methods is at a concentration of 0.3 M with electrolyte 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  for  $130 \text{ F/g}^{-1}$ . Tests using Galvanostatic charge-discharge (GCD) methods obtained capacitance is highest at concentrations of 0.3 M using electrolyte 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  is  $198.53 \text{ F/g}^{-1}$ . From this research, it obtained the value of capacitance is high, so that activated carbon from Robusta coffee beans dregs can be used as a supercapacitor electrode because of low costs and environment friendly

**Keywords:** activated Carbon, bean coffee dregs, supercapacitors, activation, porous carbon



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah mengarahkan dan melimpahkan segala berkah, rahmat, dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Tidak lupa sholawat yang tak henti kita hadiahkan kepada baginda Nabi besar Muhammad SWT, sumber suri tauladan yang baik bagi kita semua. Tesis ini ditulis berdasarkan hasil penelitian yang berjudul " Superkapasitor Berbahan Dasar Karbon Aktif dari Ampas Biji Kopi *Robusta* dengan Aktivator NaOH" sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) pada program studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Dalam proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari banyak bantuan dan dukungan dari semua pihak yang berjasa bagi penulis, karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Hermansyah Aziz, selaku Dosen pembimbing I. Terimakasih atas semua kesabaran, pengorbanan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan, arahan, nasehat dengan sabar dari awal selama masa studi dan prosespenulisan tesis ini
2. Bapak Prof. Dr. Erman Taer selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan banyak saran serta nasehat kepada penulis selama proses penulisan tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Emriadi, Bapak Prof. Dr. Adlis Santoni, Bapak Prof. Dr. Novesar Jamarun selaku Dosen Penguji pada ujian Tesis yang telah mengarahkan dan memberikan banyak saran serta nasehat kepada penulis selama proses penulisan tesis ini.
4. Bapak Dr. Mai Efdi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Andalas dan Bapak Dr. Zulhadjri, M. Eng selaku Ketua Kaprodi Program Studi S2 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, terima kasih sudah memberikan banyak bantuan dan arahannya selama masa studi.

5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, terima kasih atas kesabarannya dalam mendidik setiap Mahasiswa, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang dilakukan dengan ganjaran pahala terbaik.
6. Seluruh Staf Administrasi & Pendidikan, Analis Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Terima kasih untuk dedikasi terbaiknya dalam menjalankan pekerjaannya. Terima kasih atas bantuannya selama menempuh masa studi.
7. Bapak Prof. Dr. Syukri Arief, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.
8. Rekan-rekan seperjuangan Magister Kimia 2019 FMIPA Unand, Terima kasih atas waktu dan kebersamaannya selama menempuh masa studi di Jurusan Kimia. Semoga silaturahmi terus terjaga dan semoga Allah SWT memudahkan setiap langkah perjuangan kita semua.
9. Rekan-rekan mahasiswa satu divisi laboratorium kimia fisika, Terima kasih untuk semua waktu kebersamaannya, bantuan dan pertolongan selama melaksanakan penelitian semoga bernilai kebaikan dimata Allah SWT.

Semoga Allah SWT. Selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada mereka semua yang telah banyak membantu, memberi semangat dan dukungan dalam penyelesaian Tesis ini. Kritik dan saran dari berbagai pihak yang bersifat membangun sangat diharapkan apabila terdapat ketidak sempurnaan dalam penulisan Tesis ini. Harapan penulis semoga tesis dapat dijadikan referensi ilmu pengetahuan dan bahan diskusi bersama untuk berbagai pihak yang membutuhkan.

Padang, Oktober 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>COVER</b>	
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGHARGAAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b><u>BAB I PENDAHULUAN.....</u></b>	<b><u>1</u></b>
1.1 <u>Latar Belakang .....</u>	<u>1</u>
1.2 <u>Rumusan Masalah .....</u>	<u>4</u>
1.3 <u>Tujuan Penelitian .....</u>	<u>4</u>
1.4 <u>Manfaat Penelitian .....</u>	<u>4</u>
<b><u>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
2.1 <u>Biomassa Biji Kopi Robusta.....</u>	<u>5</u>
2.2 <u>Superkapasitor.....</u>	<u>6</u>
2.3 <u>Prinsip Kerja Sel Superkapasitor .....</u>	<u>7</u>
2.4 <u>Karbon Aktif.....</u>	<u>8</u>
2.5 <u>Kapasitansi.....</u>	<u>9</u>
2.6 <u>SEM EDX.....</u>	<u>10</u>

2.7	Surface Area Analyzer (SAA)	11
2.8	Cyclic Voltammetry (CV)	11
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>		<b>13</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	13
3.2	Alat	13
3.3	Bahan	13
3.4	Prosedur Kerja	13
3.4.1	Preparasi Karbon Ampas Biji Kopi Robusta	13
3.4.2	Proses Aktivasi Karbon Ampas Biji Kopi Robusta	14
3.4.3	Pembuatan Pelet Elektroda Superkapasitor	14
3.4.4	Proses Karbonisasi Pelet Elektroda Superkapasitor	14
3.4.5	Preparasi Sel Superkapasitor	14
3.4.6	Pembuatan Separator	14
3.4.7	Pengukuran Sifat Elektroda dari Rangkaian Superkapasitor	15
3.4.8	Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Biji Kopi Robusta	15
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		<b>16</b>
4.1	Analisis Densitas	16
4.2	Scanning Elektron Microscopy (SEM)	17
4.2.1	Energy Dispersive X-Ray (EDX)	18
4.3	Analisis Isoterm Adsorpsi-desorpsi Gas Nitrogen	20
4.4	Analisis Pengukuran Sifat Elektrokimia Sel Superkapasitor	22
4.5	Analisis Galvano Charge Discharge (GCD)	26
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>30</b>
5.1	Kesimpulan	30
5.2	Saran	30
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>31</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>38</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Komposisi Unsur .....	19
Tabel 4.2 Luas permukaan spesifik .....	21
Tabel 4.3 Nilai Kapasitansi Spesifik Elektrolit $H_2SO_4$ .....	24
Tabel 4.4 Nilai Kapasitansi Spesifik Elektrolit KOH.....	26
Tabel 4.5 Nilai Kapasitansi GCD Elektrolit $H_2SO_4$ .....	28
Tabel 4.6 Nilai Kapasitansi GCD Elektrolit KOH.....	29



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Superkapasitor.....	8
Gambar 2.2 Kurva Voltamogram .....	12
Gambar 4.1 Hasil Densitas .....	16
Gambar 4.2 Hasil SEM .....	18
Gambar 4.3 Kurva Adsorpsi.....	20
Gambar 4.4 Distribusi Ukuran Pori .....	22
Gambar 4.5 Kurva CV Elektrolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	23
Gambar 4.6 Kurva CV Elektrolit KOH .....	25
Gambar 4.5 Kurva GCD Elektrolit H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	27
Gambar 4.6 Kurva GCD Elektrolit KOH .....	28



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 <u>Skema Kerja</u> .....	38
LAMPIRAN 2 <u>Perhitungan Pembuatan Larutan</u> .....	41
LAMPIRAN 3 <u>Perhitungan Kapasitansi</u> .....	42
LAMPIRAN 4 <u>Hasil EDX</u> .....	44
LAMPIRAN 5 <u>Hasil BET</u> .....	45
LAMPIRAN 6 <u>Foto Penelitian</u> .....	47



# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pada era global ini, kebutuhan manusia akan alat – alat elektronik semakin meningkat. Sehingga penggunaan listrik di dunia juga semakin meningkat. Inovasi baru untuk menyimpan energi listrik. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan barang – barang elektronik, oleh karena itu dibutuhkan inovasi baru untuk menyimpan energi seperti baterai dan kapasitor. Selama ini baterai memang dianggap efektif untuk menjadi sumber daya bagi alat yang membutuhkan voltase rendah. Namun, terdapat kelemahan pada baterai jika sering digunakan seperti *voltage drop*. Adanya superkapasitor yang dipasangkan pada baterai akan meningkatkan performa dan umur pakai baterai (Suwandana, Suwandana, & Susanti, 2015).

Baru- baru ini superkapasitor telah menunjukkan potensi yang besar untuk memenuhi kebutuhan energi, terutama energi listrik portabel (Taer *et al.*,2016). Superkapasitor ini telah menunjukkan kinerja yang luar biasa sebagai sistem penyimpanan energi ramah lingkungan karena proses pengisian yang lebih cepat, kepadatan daya tinggi, stabilitas jangka panjang, berbiaya rendah, dan proses produksi relative lebih mudah (Miller *et al.*,2018). Superkapasitor adalah strategi energi yang menarik untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari eksploitasi bahan bakar fosil (S. Koochi *et al.*,2020).

Berdasarkan mekanisme penyimpanannya, superkapasitor dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu kapasitor elektrokimia lapis ganda (EDLC) dan pseudo-kapasitansi. EDLC menyimpan muatan melalui adsorpsi ion elektrolit yang cepat pada permukaan elektroda dengan membentuk lapisan ganda. Pseudo-kapasitansi menyimpan muatan melalui reaksi redoks faradaic pada antarmuka elektroda / elektrolit (Burke *et al.*,2000). Namun demikian, kepadatan energi superkapasitor masih relatif rendah. Perkembangan bahan elektroda dengan morfologi terkontrol dan pori yang optimal sangat diperlukan untuk menghasilkan superkapasitor dengan energi dan daya yang tinggi (Taer *et al.*,2016). Para peneliti melakukan riset untuk meningkatkan energi superkapasitor dengan berbagai cara seperti



mengembangkan dan memodifikasi material baru pada bahan elektroda superkapasitor.

Beberapa bahan dasar elektroda yang dapat digunakan adalah karbon aktif, oksida logam, dan polimer. Diantara bahan dasar tersebut, karbon aktif memiliki keunggulan yaitu mudah didapatkan, biaya murah, memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan luas permukaan yang besar (Aziz H *et al.*, 2018).

Karbon aktif berpori adalah salah satu material yang memiliki sifat yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar superkapasitor karena memiliki struktur morfologi yang unik, luas permukaan spesifik, distribusi ukuran pori yang cocok, , stabilitas kimia yang baik dan proses preparasi yang relatif mudah (Zhang *et al.*,2017). Peningkatan kepadatan energi pada sebuah superkapasitor membutuhkan bahan karbon yang berpori diantaranya mikropori, mesopori dan makropori (Baujibar *et al.*,2019). Makropori memiliki jarak yang relative pendek untuk difusi ion pada permukaan elektroda (Zhang *et al.*,2017). Mesopori memiliki jalur transport ion yang relative lancar tanpa hambatan ke permukaan elektroda / elektrolit (Song *et al.*,2015), dan mikropori memiliki luas permukaan yang tinggi untuk meningkatkan area aktif yang banyak pada ion sehingga memungkinkan terbentuk lapis ganda listrik (Wu *et al.*,2020). Ketiga pori saling terhubung untuk mencapai kinerja superkapasitor dengan kepadatan energi yang tinggi (Fu *et al.*,2018). Banyak peneliti telah melaporkan bahwa penggunaan karbon berpori masih membutuhkan biaya produksi yang relative mahal dan bahan dasar yang sulit di dapatkan.

Beberapa biomassa yang mengandung unsur karbon, seperti tempurung kelapa, kayu, sekam padi, dan biji kopi dapat mengalami proses karbonisasi. Kriteria bahan karbon aktif diantaranya memiliki logam anorganik, mudah didapat dan biaya murah, memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi (Taer *et al.*,2014). Sumber biomassa di alam dengan struktur mikro memiliki kemampuan untuk menjadi bahan dasar untuk pembuatan karbon. Biomassa memiliki senyawa lignoselulosa yang merupakan sumber karbon yang melimpah dan mudah. Selain itu, selulosa juga bersifat hidrofilik sehingga dapat memudahkan proses difusi ion kedalam pori (Taer *et al.*,2016). Pada era sekarang ini, kopi menjadi minuman yang sangat populer, sehingga menghasilkan banyak

limbah dari ampas kopi. Secara teoritis ampas biji kopi mengandung karbohidrat (38-42%), melanoidin (23%), lipid 11-17%), dan komponen lainnya, kandungan karbohidrat dari ampas biji kopi memiliki persentase yang tinggi, sehingga ampas biji kopi dapat kita manfaatkan menjadi salah satu bahan dasar untuk pembuatan elektroda superkapasitor (Abioye et al.,2015).

Penelitian sebelumnya (Jonghyun dkk.,2019), ampas biji kopi telah digunakan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor. Pembuatan karbon aktif pada ampas biji kopi dilakukan dengan menambahkan nitrogen, dan didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 74 F/g<sup>-1</sup>. Namun, nilai kapasitansi yang didapatkan perlu ditingkatkan penggunaannya. Selain itu, penelitian lain (Yi Han.,2019) juga melaporkan tentang pemanfaatan ampas biji kopi sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor dengan agen pengaktif NaOH untuk menghasilkan karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan dari limbah ampas kopi didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 69,5 F/g<sup>-1</sup>. Namun, nilai kapasitansi yang didapatkan masih dianggap kurang efisien.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, Aziz et al (2020) tentang pemanfaatan ampas teh sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor dengan menggunakan activator NaOH, didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 80 F/g<sup>-1</sup>, Kenji et al (2018) tentang Bio-nanokarbon berpori tinggi yang dibuat dengan karbonisasi dan aktivasi NaOH dari polisakarida untuk bahan elektroda EDLC, karbon aktif yang dihasilkan didapatkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 46,1 F/g. Namun demikian, nilai kapasitansi yang telah didapatkan perlu ditingkatkan lagi.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, pemilihan prekursor biomassa adalah proses penting karena sumber karbon mempengaruhi bentuk dan karakteristik structural yang dihasilkan (Taer.,*et al* 2020). Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini, telah dilakukan pembuatan superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dari ampas biji kopi *robusta* dengan aktivator NaOH. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa variasi konsentrasi aktivator NaOH, yaitu 0,2 M, 0,3 M, 0,4 M, Hal ini bertujuan untuk melihat kemampuan aktivator NaOH terhadap distribusi pori dan luas permukaan dari karbon aktif ampas biji kopi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi activator NaOH terhadap sifat fisis dan elektrokimia dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* sebagai material penyusun elektroda superkapasitor
2. Bagaimana karakterisasi dari karbon aktif elektroda ampas biji kopi *robusta* yang dihasilkan dari aktivasi dengan NaOH antara lain densitas, morfologi permukaan dan kandungan unsur sampel.
3. Bagaimana sifat elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry* dan *galvanostatic charge discharge* dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* sebagai material penyusun elektroda superkapasitor

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh variasi konsentrasi activator NaOH terhadap sifat fisis dan elektrokimia dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* sebagai material penyusun elektroda superkapasitor
2. Mempelajari karakterisasi dari karbon aktif elektroda ampas biji kopi *robusta* yang dihasilkan dari aktivasi dengan NaOH antara lain densitas, morfologi permukaan dan kandungan unsur sampel.
3. Mempelajari sifat elektrokimia menggunakan metode *cyclic voltammetry* dan *galvanostatic charge discharge* dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* sebagai material penyusun elektroda superkapasitor

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan salah satu alternatif dalam mengatasi masalah lingkungan dengan mendaur ulang limbah ampas biji kopi menjadi elektroda karbon dengan luas permukaan tinggi

2. Mencari sumber material alternatif yang murah dan multifungsi yang digunakan untuk menyimpan energi listrik



## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa Biji Kopi *Robusta*

Kopi adalah salah satu hasil komoditi dari perkebunan yang memiliki nilai ekonomis tinggi diantara tanaman perkebunan lainnya kopi berperan penting sebagai sumber devisa negara. Konsumsi kopi dunia mencapai 70% yang berasal dari spesies kopi Arabika, 26% berasal dari spesies kopi Robusta dan 4% berasal dari spesies lainnya. Asosiasi Eksportir Kopi Indonesia (AEKI) mencatat bahwa konsumsi kopi di Indonesia terus naik (Aprilia *et al.*,2018)

Kopi arabika dan kopi robusta memasok sebagian besar perdagangan kopi dunia. Jenis kopi arabika memiliki kualitas cita rasa tinggi, dan kadar kafein yang lebih rendah dibandingkan dengan kopi robusta sehingga harganya lebih mahal. Kualitas cita rasa kopi robusta lebih rendah dibandingkan kopi arabika, namun, kopi robusta ini memiliki tingkat tumbuhan yang tahan terhadap penyakit tanaman, Oleh karena itu, luas area pertanaman kopi robusta di Indonesia lebih besar dari pada luas area pertanaman kopi arabika sehingga produksi kopi robusta lebih banyak. Salah satu permasalahan utama dalam proses pengolahan kopi adalah penanganan limbah padat. Dalam setiap ton buah basah akan diperoleh 200 kg kulit kopi kering. Hal tersebut menunjukkan pengolahan kopi primer cara basah akan menghasilkan limbah padat maupun cair yang sangat besar. Kulit kopi memiliki kandungan nutrisi dan senyawa yang potensial untuk dapat diubah menjadi produk bernilai tambah (Aprilia *et al.*,2018).

Seperti halnya kayu, yang memiliki selulosa, hemiselulosa, dan lignin, kopi juga memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Secara teoritis ampas biji kopi mengandung karbohidrat (38-42%), melanoidin (23%), lipid 11-17%), dan komponen lainnya, dari komposisi ini kita dapat melihat bahwa semakin banyak kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin maka akan semakin banyak karbon aktif yang akan dihasilkan.

## 2.2 Superkapasitor

Superkapasitor atau dikenal juga dengan sebutan EDLC (*Electric Double Layer Capacitor*) adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang mempunyai kerapatan daya yang tinggi dan tahan lama. Energi yang tersimpan pada superkapasitor disebabkan oleh transfer muatan pada lapisan ganda antarmuka elektroda / elektrolit melalui gaya elektrostatis. Superkapasitor dari sisi Teknik memiliki density daya 10 kali lebih besar dengan pengisian ulang daya yang singkat, efisien yang tinggi (95%), siklus hidup yang Panjang (25-30 tahun) (Reny et al.,2014).

Superkapasitor terdiri dari elektroda, separator/pemisah, pengumpul muatan (*current collector*) dan elektrolit. Kedua elektroda disusun seperti sandwich yang dipisahkan oleh separator dibagian tengahnya (Aziz et al.,2017). Kapasitansi superkapasitor ditentukan oleh luas permukaan suatu elektroda (Jayalakshmi et al.,2008). Oleh karena itu, secara umum bahan elektroda untuk superkapasitor harus memiliki luas permukaan yang tinggi untuk menyimpan muatan (Kwon et al.,2014). Elektrolit merupakan bagian dalam sel yang menghantarkan electron dan menghasilkan elketron untuk menjalankan sel elektrokimia (Rossi et al .,2014). Elektrolit umum yang digunakan dalam superkapasitor adalah elektrolit berair  $H_2SO_4$  (Rossi et al.,2014), KOH (Yueming et al.,2011) dan Asam Pospat)  $H_3PO_4$  (Aziz et al.,2017).

Superkapasitor dikelompokkan tiga kategori utama, yaitu *electric double layer capacitor* (EDLC), *pseudocapacitor* dan kapasitor hybrid. *Pseudocapacitors* merupakan superkapasitor yang menyimpan muatan secara Faradaik melalui transfer muatan antara elektroda dan elektrolit yang terjadi melalui *electrosorption*, reaksi reduksi-oksidasi dan proses interkalasi. Kapasitansi dan rapat energi *pseudocapacitors* lebih tinggi dari superkapasitor tapi stabilitas elektrokimianya rendah dan elektroda yang biasa digunakan relative mahal, seperti polimer dan oksida logam. Kapasitor hybrid merupakan kapasitor yang menggabungkan *pseudocapacitors* dan EDLC. Kapasitor hybrid memanfaatkan keuntungan dan mengurangi kerugian pada EDLC dan *pseudocapacitors* untuk meningkatkan kinerja kapasitor. EDLC memanfaatkan *double layer* atau lapisan ganda yang terbentuk pada permukaan elektroda atau elektrolit, dimana muatan

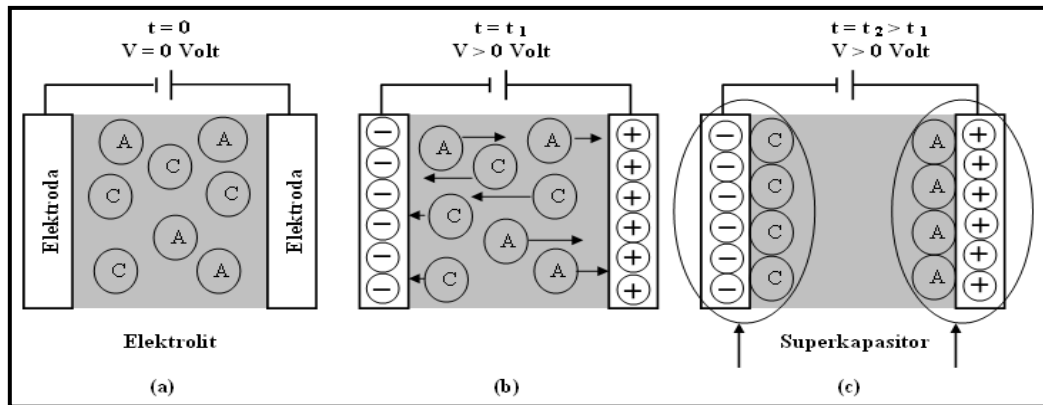
listrik terkumpul pada permukaan elektroda dan ion – ion muatan yang berlawanan tersusun dalam tepi – tepi elektrolit (Salita et al.,2013).

Penyimpanan energi dalam superkapasitor berdasarkan pada absorpsi ion elektrolit pada luas permukaan spesifik yang besar dari elektroda berpori yang bersifat konduktif (Burke et al.,2000). Superkapasitor mempunyai ruang penyimpanan muatan yang dipengaruhi oleh tiga factor dasar yaitu elektroda, jarak elektroda dan bahan dielektrik. Prinsipnya berdasarkan polarisasi larutan elektrolit, memiliki dua buah elektroda yang diantaranya diselipkan sebuah pemisah berisi larutan elektrolit. Ketika tegangan diberikan pada elektroda positif dan negatif, maka ion elektrolit akan bergerak menuju ke masing – masing elektroda. Ion larutan elektrolit tersebut akan terkumpul di permukaan elektroda padat sehingga membentuk lapis rangkap listrik (Khu et al.,2014).

### 2.3 Prinsip Kerja Sel Superkapasitor

Mekanisme kerja superkapasitor sangat bergantung pada ion yang memiliki muatan listrik. Ion – ion tersebut berasal dari elektrolit yang terdisosiasi dan berada di antara kedua elektroda karbon aktif. Mekanisme adsorpsi dan desorpsi ion pada kedua elektroda berperan dalam pengisian dan pengosongan superkapasitor. Potensial yang diberikan pada elektroda yang saling berhadapan akan menyebabkan ion tertarik ke permukaan kedua elektroda tersebut sehingga terjadi proses pengisian (*charging*). Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat superkapasitor digunakan (*discharging*) (Taer et al., 2010).

Ion – ion pada elektroda terdiri dari ion positif (kation) dan ion negative (anion). Ketika beda potensial diberikan antara kedua elektroda dalam sel elektrokimia, anion (A) akan bergerak menuju elektroda yang bermuatan positif. Sedangkan kation (C) bergerak menuju elektroda yang bermuatan negative. Elektroda dihasilkan dari luas permukaan yang tinggi, dimana pori dari material tersebut berukuran sangat kecil yaitu nanometer. Selain itu, ukuran diameter pori juga merupakan factor yang sangat mempengaruhi berjalannya mekanisme ini. Ukuran pori elektroda hendaknya sedikit lebih besar dari ukuran diameter ion yang akan melewatinya sehingga mekanisme adsorpsi dan desorpsi berjalan dengan optimal. Prinsip kerja dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2.1** Prinsip kerja superkapasitor (Namisnyk, 2003).

## 2.4 Karbon aktif

Karbon aktif merupakan karbon amorf yang memiliki luas permukaan besar dan daya adsorpsi yang tinggi melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Luas permukaan yang besar disebabkan karena karbon memiliki kemampuan dalam penyerapan (Liu et al., 2018). Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air. Karbon aktif mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan – bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand et al., 2005).

Karbonisasi adalah proses pembuatan karbon tanpa oksigen atau bahan kimia. Proses karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan zat *volatile* dan mengembangkan struktur pori yang hasilnya masih relatif rendah. Untuk itu perlu aktivasi untuk membuka pori – pori yang masih tertutup dan meningkatkan ukuran serta jumlah pori kecil yang telah terbentuk (Garcia et al., 2017). Aktivasi merupakan suatu proses untuk memodifikasi luas permukaan dan pori – pori dari hasil karbonisasi dengan cara pemecahan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul yang ada di permukaan karbon. Pada proses aktivasi karbon aktif akan mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia sehingga dapat berpengaruh terhadap daya adsorpsi (Budiono et al., 2009). Umumnya metode aktivasi yang digunakan pada pembuatan karbon aktif adalah sebagai berikut:

3. Aktivasi fisika, adalah peningkatan pori atau luas permukaan dengan pemanasan pada temperature aktivasi. Aktivasi fisika melibatkan perlakuan terhadap prekursor karbon pada suhu tinggi dengan adanya gas pengoksidasi



seperti uap, CO<sub>2</sub> dan udara (Iro et al.,2016). Faktor – factor yang mempengaruhi karakteristik atau sifat dari karbon aktif yang dihasilkan melalui proses aktivasi fisika yaitu bahan dasar, laju aliran kalor, laju aliran gas, proses karbonasi sebelumnya, suhu pada saat proses aktivasi, agen pengaktivasi yang digunakan, laa proses aktivasi dan alat yang digunakan.

4. Aktivasi kimia, yaitu proses aktivasi dilakukan dengan mempergunakan bahan kimia sebagai *activating agent*. Tujuannya untuk memutus rantai karbon dari senyawa organik dengan menggunakan bahan – bahan kimia (Marsh et al.,2006). Beberapa activator yang telah digunakan dalam aktivasi kimia seperti H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (Kwiatkowski et al.,2017), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Kamikuri et al.,2014), HNO<sub>3</sub> ZnCl<sub>2</sub> (Kang et al.,2018) dan NaOH (Minson et al.,2013). Aktivator akan meresap dan membuka permukaan karbon aktif yang semula tertutup (Pambayun et al., 2013).

## 2.5 Kapasitansi

Ukuran jumlah dari muatan listrik yang dapat di simpan (atau dipisahkan) untuk sebuah potensial listrik yang telah ditentukan ini disebut kapasitansi. Penentuan nilai kapasitansi bergantung pada bentuk konduktor dan ukuran, serta akan bertambah bila ada sebuah material pengisolasi atau dielektrik. Kapasitansi diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan, dengan rumus:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

Dimana, C (kapasitansi), Q (muatan yang diberikan pada plat), V (tegangan yang diberikan) (Abioye et al. 2015)

Kapasitansi spesifik (Csp) untuk satu elektroda dalam superkapasitor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Csp = \frac{Ic - Id}{s.m} \quad (2.2)$$

Dimana Ic adalah arus *change*, Id adalah arus *discharge*, s adalah scan *rate* dan m adalah massa total karbon aktif di kedua elektroda (Chen et al. 2013).

Kerapatan energi superkapasitor bergantung pada kapasitansi dan voltase, Jika salah satu atau keduanya dinaikkan maka rapat energi akan meningkat. Dalam persamaan berikut, kerapatan energi (E), kapasitansi spesifik (Csp), kerapatan muatan (Q).

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.3)$$

Dimana C ( kapasitansi), V (tegangan) (Abioye *et al.* 2015).

Kerapatan daya (P) dapat dihitung melalui persamaan dibawah ini:

$$P = \frac{V^2}{4Rs} \quad (2.4)$$

Dimana Rs adalah resistansi dari superkapasitor, dan ini dipengaruhi oleh: (i) resistansi elektronik dari elektroda, (ii) hambatan antara elektroda dan kolektor arus, (iii) ketahanan elektrolit, (iv) resistensi ionic ion yang bergerak dalam pori-pori kecil, dan (v) resistensi ionic yang bergerak melalui pemisah (Li , 2018).

## 2.6 Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop electron yang menggunakan berkas electron terfokus yang bereaksi dengan sampel untuk menghasilkan gambar topologi dan komposisi relative. Setelah kontak dengan sampel, berkas electron terfokus akan menghasilkan electron sekunder (SE), electron hamburan balik, dan sinar-X karakteristik, yang kemudian dideteksi dengan detector masing-masing dan akhirnya ditampilkan pada monitor (Abd Mutalib, Rahman, Othman, Ismail, & Jaafar, 2017)

SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, dilengkapi dengan EDX (Electron dispersive X ray spectroscopy) dan dapat mendeteksi unsur-unsur dalam material, spektroskopi EDX terlibat dalam pendeteksian komposisi unsur zat dengan menggunakan mikroskop electron. EDX mampu mendeteksi unsur-unsur yang memiliki bilangan atom lebih tinggi dari boron dan unsur-unsur tersebut dapat dideteksi pada konsentrasi minimal 0,1%. Penerapan EDX meliputi evaluasi dan identifikasi material, identifikasi kontaminasi.

## 2.7 Surface Area Analyzer (SAA)

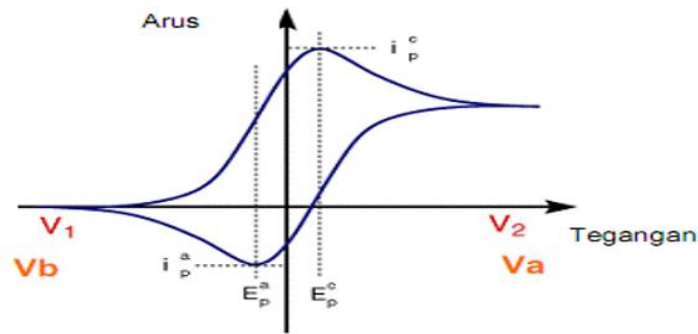
*Surface Area Analyzer* (SAA) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Alat ini khususnya berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu gas pada suatu bahan.

Alat ini prinsip kerjanya menggunakan mekanisme adsorpsi gas, umumnya nitrogen, argon dan helium, pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi pada suhu konstan biasanya suhu didih dari gas tersebut. Alat tersebut pada dasarnya hanya mengukur jumlah gas yang dapat diserap oleh suatu permukaan padatan pada tekanan dan suhu tertentu (Zulichatun et al., 2015). Secara sederhana, jika kita mengetahui berapa volume gas spesifik yang dapat diserap oleh suatu permukaan dari satu molekul gas yang diserap, maka luas permukaan total padatan tersebut dapat di hitung.

## 2.8 Cyclic Voltammetry (CV)

Voltametri siklik (CV) adalah alat yang secara luas digunakan dibidang elektrokimia untuk mengkaraterisasi kinerja berbagai perangkat penyimpanan energi listrik seperti kapasitor elektrokimia, baterai dan sel bahan bakar. Dalam aplikasi ini, elektroda bermuatan biasanya direndam dalam larutan elektrolit. Lapisan ganda listrik terbentuk pada antarmuka elektroda/elektrolit yang dapat diakses dengan adanya ion dalam elektrolit (Wang et al.,2012).

Voltametri siklik sebagai metode pengukuran sifat elektrokimia superkapsitor yang menampilkan hubungan antara arus dan tegangan. Pengukuran dengan metode siklik voltametri ini berdasarkan variasi tegangan awal dan tegangan akhir. Kurva yang dihasilkan pada metode siklik voltametri adalah loop hysteresis dimana semakin lebar bentuk kurvanya maka nilai kapasitansinya yang dihasilkan akan semakin besar (Taer et al.,2015).



**Gambar 2.4** Tampilan grafik CV (Bard and Lary,2000)

Siklik voltametri (CV) sangat mirip dengan linear sweep voltammetry, dimana rentang potensial tetap digunakan untuk mengukur arus yang mengalir pada sistem. Tegangan disapu antara dua nilai pada tingkat tetap dan konstan, ketika tegangan mencapai  $V_2$  pemindaian dibalik dan tegangan disapu kembali ke  $V_1$ , seperti gambar 2.

Besarnya nilai kapasitansi spesifik bergantung pada karakteristik material elektroda, terutama pada luas permukaan dan ukuran pori. Potensial sel akan menjadi faktor penentu dari besarnya nilai energi dan daya yang dihasilkan oleh superkapasitor. Semakin besar kapasitansi yang dihasilkan maka daya dan energi juga akan semakin besar (Pandolfo dkk., 2006).

Kapasitansi spesifik (F/g) yang akan dihasilkan dengan menggunakan metode siklis voltammogram dapat dihitung menggunakan persamaan (Kalpana, et.al., 2009):

$$C_{sp} = \frac{2[(I_c - (-I_a))/2]}{S \times m} \quad (2.10)$$

Keterangan :

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

$I_d$  = Rapat arus pada saat *discharge* (A/cm<sup>2</sup>)

$I_c$  = Rapat arus pada saat *charge* (A/cm<sup>2</sup>)

$S$  = Laju *scan* (mV/s)

$m$  = Massa elektroda meterial karbon (gr)

## BAB III. METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Februari 2021 sampai bulan Mei 2021 di Laboratorium Elektrokimia/Fotokimia Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas dan Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau. Penggunaan *Furnace* N<sub>2</sub>, Pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV), Pengukuran *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD) dilakukan di laboratorium Jurusan Fisika Universitas Riau. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Surface Area Analyzer* (SAA) dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Institute Teknologi Surabaya.

### 3.2 Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *hot plate* (IKA'C-MAG HS4), *oven*, *furnace* Nitrogen (Nabertherm), plat *stainless steel* 316L, neraca analitik (Mettler PM4000), dan peralatan gelas laboratorium.

### 3.3 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ampas biji kopi Aceh (diambil dari warung kopi Aceh di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam), asam sulfat p.a (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), Natrium hidroksida (NaOH) (Merck), Kalium Hidroksida (KOH) asam klorida (HCl), kertas pH meter, membran cangkang telur, ampelas, dan aquades.

### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Preparasi Ampas Biji Kopi *Robusta*

Ampas biji kopi *robusta* dicuci dengan aquades dan dikeringkan pada suhu ruang. Sampel yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C lebih kurang 3 jam lalu ditimbang. Setelah itu ampas biji kopi *robusta* dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 38 µm. Selanjutnya sampel disiapkan untuk proses aktivasi (lihat lampiran 1)

### 3.4.2 Proses Aktivasi Ampas Biji Kopi *Robusta*

Ampas biji kopi robusta ditimbang 20 g, diaktivasi menggunakan larutan NaOH dengan perbandingan variasi konsentrasi 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M dalam 100 mL akuades. Diaduk sampai homogen selama kurang lebih 3 jam pada suhu 80°C, selanjutnya dioven pada suhu 110°C selama 1 hari (lihat lampiran 2)

### 3.4.3 Pembuatan Pelet Elektroda Superkapasitor

Karbon aktif kering dihaluskan dan ditimbang sebanyak 0,7 gram, dicetak menjadi pellet menggunakan hidroullic press pada tekanan 8 ton dan ditahan selama 2 menit, Ditimbang massa dan diukur diameter serta ketebalan, dan disiapkan untuk proses karbonisasi.

### 3.4.4 Proses Karbonisasi Pelet Elektroda Superkapasitor

Pelet elektroda superkapasitor dibungkus menggunakan tisu ditempatkan dalam tabung furnace dibawah atmosfer nitrogen dengan laju pemanasan 5°C/menit, dipanaskan secara bertingkat dengan suhu awal 400°C lalu ditahan selama 1 jam dan suhu dinaikkan 600°C kemudian ditahan lagi selama 1 jam dan suhu dinaikkan lagi hingga 800°C dan ditahan selama 1,5 jam.

### 3.4.5 Preparasi Sel Superkapasitor

Pelet karbon aktif ampas biji kopi robusta ditimbang dan diukur diameter serta ketebalan, kemudian dicuci dengan akuades hingga pH netral, dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 24 jam. Kemudian pelet kering dipoles dengan amplas hingga ketebalan sekitar 0,2 mm dan diameter sekitar 8 mm, selanjutnya ditimbang massanya dan direndam dalam larutan 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 48 jam.

### 3.4.6 Pembuatan Separator

Sediakan 1 butir telur itik, selanjutnya dipecahkan dan dibuang isinya, cangkang telur itik dimasukkan kedalam gelas beker dan di isi akuades hingga cangkang tenggelam, teteskan larutan HCL 1M kedalam beker 10-15 tetes, kemudian diaduk, diamkan selama kurang lebih 1 hari hingga terlihat membrane telur itik

terlepas dari cangkangnya. Ambil membrane itik yang telah terkelupas, kemudian potong sesuai ukuran sel superkapasitor.

### 3.4.7 Pengukuran Sifat Elektrokimia dari Rangkaian Superkapasitor

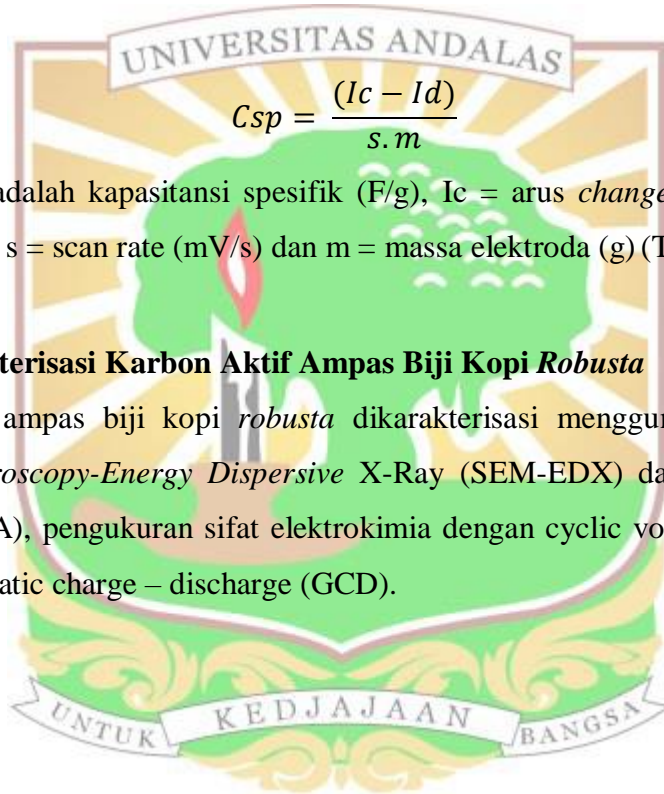
Sifat elektrokimia diukur dengan *galvanostatic charge-discharge* dan *cyclic voltammetry* menggunakan 2 elektroda yang diapit oleh *plat stainless* sebagai *current collector*. Kedua elektroda tersebut disusun seperti *sandwich* dan dibagian tengahnya diberikan separator sebagai pemisah. Sifat elektrokimia ini diukur pada laju pemindaian 1 mV/s menggunakan rentang potensial 0-1 Volt (Taer et al. 2018).

$$C_{sp} = \frac{(I_c - I_d)}{s \cdot m}$$

Dimana  $C_{sp}$  adalah kapasitansi spesifik (F/g),  $I_c$  = arus *charge* (A),  $I_d$  = arus discharge (A),  $s$  = scan rate (mV/s) dan  $m$  = massa elektroda (g) (Taer et al. 2018).

### 3.4.8 Karakterisasi Karbon Aktif Ampas Biji Kopi *Robusta*

Karbon aktif ampas biji kopi *robusta* dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Surface Area Analyzer* (SAA), pengukuran sifat elektrokimia dengan *cyclic voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic charge – discharge* (GCD).



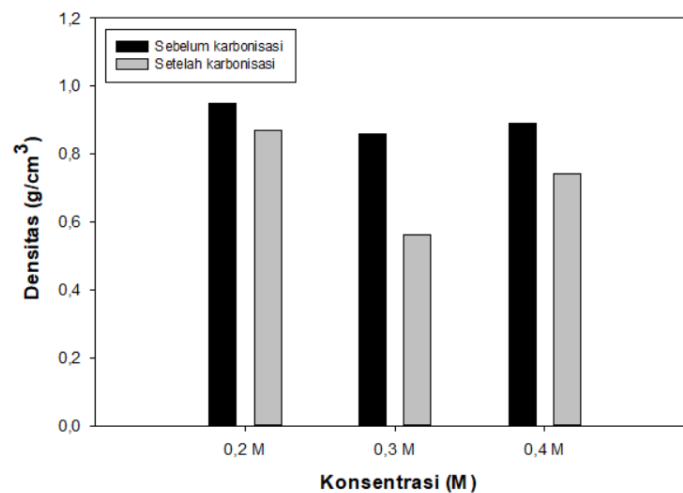




## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Densitas

Densitas merupakan salah satu sifat fisis yang mempengaruhi kinerja sel superkapasitor. Densitas mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik superkapasitor. Semakin kecil nilai densitas maka pori yang dihasilkan semakin banyak sehingga porositas yang dihasilkan akan semakin besar. Densitas dapat menentukan kemampuan sel superkapasitor sebagai penyimpan muatan, semakin tinggi densitas elektroda superkapasitor maka semakin kecil kemampuannya dalam menyimpan muatan. Kemampuan ini dipengaruhi oleh susunan partikel elektroda sehingga menyebabkan jumlah pori pada elektroda menjadi sedikit (Puspitasari, 2014). Grafik densitas sebelum dan sesudah karbonisasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1



**Gambar 4.1** Hasil densitas elektroda karbon berdasarkan variasi konsentrasi

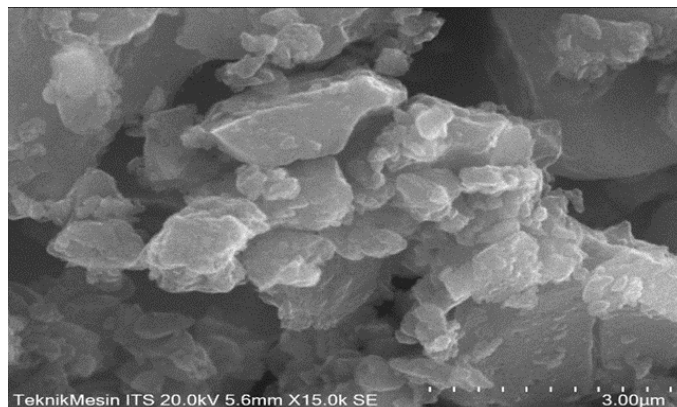
Gambar 4.1 menunjukkan data densitas elektroda karbon ampas biji kopi *robusta* sebelum dan setelah proses karbonisasi-aktivasi. Secara umum nilai densitas yang dihasilkan pada proses sebelum karbonisasi-aktivitasi untuk semua sampel hampir sama. Hal ini karena pada proses awal pembuatan pelet karbon diberikan perlakuan yang sama untuk semua variasi konsentrasi, sedangkan densitas elektroda ampas biji kopi *robusta* setelah karbonisasi-aktivasi mengalami penurunan densitas. Penurunan densitas setelah karbonisasi-aktivasi berkisar antara 9% sampai 35%. Penurunan densitas tertinggi ditunjukkan oleh elektroda

karbon ampas biji kopi *robusta* dengan konsentrasi 0,3 M sebesar 35%. Proses karbonisasi aktivasi ini juga menyebabkan hilangnya senyawa non karbon sehingga massa karbon menjadi berkurang. Persentase pengurangan massa (*burn off*) berpengaruh terhadap nilai densitas yang dihasilkan. Semakin besar persentase *burn off* maka pengurangan massa yang terjadi semakin tinggi, sehingga densitas semakin kecil (Taer, et Al. 2016). Pada proses karbonisasi terjadi penguapan senyawa volatile, senyawa volatil digunakan untuk mengisi kekosongan pada rantai karbon sehingga dapat mengurangi diameter dan ketebalan pelet (Taer et al.,2020).

Hal yang serupa juga dilaporkan oleh penelitian (Taer et al.,2019), mengenai sintesis karbon nanofiber yang berasal dari serat daun nanas sebagai elektroda karbon untuk dijadikan superkapasitor, nilai perubahan densitas yang dihasilkan berkisar antara 11,99% sampai 21,64%. Kepadatan pellet akan berkurang setelah dilakukan karbonisasi-aktivasi, penurunan terjadi karena adanya penguapan bahan non-karbon dalam proses karbonisasi, penguapan bahan non-karbon menyebabkan terjadinya pelebaran pori dan menghasilkan pori – pori baru pada elektroda. Selain itu, kepadatan dipengaruhi oleh proses pembentukan pelet, dimana sampel dengan massa yang sama belum tentu menghasilkan kepadatan yang sama. Adanya penempelan pada sampel dipermukaan pellet yang tidak rata menyebabkan massa, ketebalan dan diameter yang dihasilkan berbeda (Taer et al.,2020).

#### 4.2 Scanning Elektron Microscopy (SEM)

*Scanning electron microscopy* (SEM) biasanya digunakan untuk menunjukkan perubahan morfologi pada sampel, akibat perlakuan termal atau kimia selama proses konversi bahan baku menjadi karbon aktif (Gonzales et al.,2017). Dalam penelitian superkapasitor, SEM digunakan untuk melihat permukaan karbon dengan distribusi ukuran mikropori yang tinggi. Hasil Analisa SEM karbon aktif ampas biji kopi *robusta* pada penelitian ini dapat di lihat pada gambar 4.2



**Gambar 4.2** SEM Mikrograf elektroda karbon dari ampas biji kopi *robusta* dengan perbesaran 15000X

Pada gambar 4.2 dengan perbesaran 15000X menunjukkan bentuk permukaan yang kasar dengan pori – pori yang kecil seperti serpihan, Pori – pori ini terbentuk dari reaksi kimia antara ampas biji kopi dengan NaOH selama proses aktivasi. NaOH akan terurai menjadi natrium selama proses aktivasi (Sattayarut et al.,2019). Selain itu, Mikrograf ini menunjukkan bahwa ukuran volume pori dari karbon aktif besar dengan distribusi ukuran pori yang tidak merata. Aktivasi NaOH menghasilkan banyaknya mesopori, hal ini menunjukkan activator NaOH bisa berfungsi dengan baik dalam membentuk struktur berpori selama proses karbonisasi. Struktur berpori akan menghasilkan pori yang terbuka sehingga dapat meningkatkan proses difusi dan transfer ion elektrolit. Penggunaan activator NaOH pada karbon dari ampas biji *robusta* dapat memperluas permukaan dari karbon aktif (Aziz et al.,2020). Hal yang serupa juga dilaporkan oleh penelitian (Yahya et al.,2015) bahwa bentuk morfologi SEM dipengaruhi oleh sifat bahan biomassa , bahan pengaktif kimia, dan perlakuan lain yang digunakan dalam produksi karbon aktif.

#### 4.2.1 *Energy Dispersive X-Ray (EDX)*

*Energy Dispersive X-Ray (EDX)* digunakan untuk mengetahui kandungan unsur kimia dari suatu material. Prinsip kerja dari EDX yaitu dengan menangkap signal (Fluoresensi) dan sinar X yang dikeluarkan. Apabila teknik SEM dan EDX digabungkan, maka keduanya dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur – unsur yang dimiliki oleh fasa pada struktur mikro (Barmawi et al.,2012). Analisa

EDX terhadap karbon aktif dari limbah ampas biji kopi *robusta* menunjukkan komposisi material pada elektroda dengan konsentrasi 0,3 M NaOH. Tabel 4.1 menunjukkan kandungan unsur yang terdapat pada karbon aktif dari ampas kopi *robusta* dengan menggunakan EDX.

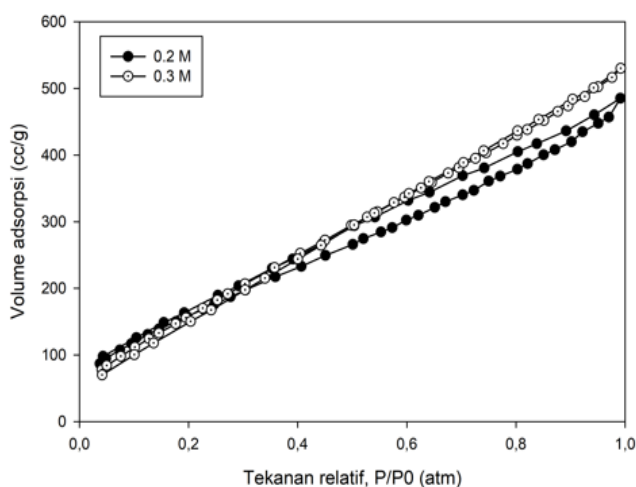
**Tabel 4.1** Komposisi unsur yang terdapat pada karbon aktif ampas biji kopi *robusta*

Unsur	Berat (%)
C	49,37
O	21,35
Na	5,38
Mg	1,29
K	2
Ca	1,08
N	10,16
Si	6,99
P	1,05
Al	0,41

Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil analisa EDX dan didapatkan bahwa komposisi kimia yang banyak pada sampel karbon aktif ampas biji kopi adalah karbon. Analisa ini dapat dilihat bahwa material karbon mengandung 49,37% karbon, 21,35% oksigen, 5,38% Natrium, 1,29% Magnesium, 2%, Kalium, 1,08% kalsium, 6,99% Silicon, 10,16% Nitrogen dan 0,41% Aluminium. Kandungan yang terbanyak setelah karbon adalah oksigen, Unsur oksigen yang berasal dari bahan baku yang tertinggal karena proses karbonisasi yang tidak sempurna (Zheng et al.,2017). Unsur Si umumnya ditemui pada sampel karbon yang berasal dari bahan biomassa. Unsur K dapat berasal dari pencucian yang kurang bersih dalam proses persiapan elektroda, dan unsur Na berasal dari activator NaOH (Aziz et al.,2020). Hal yang serupa juga dilaporkan oleh penelitian (Taer et al.,2019), mengenai sintesis karbon nanofiber berasal dari serat daun nanas sebagai elektroda karbon untuk aplikasi superkapasitor, hasil karakterisasi EDX pada elektroda serat daun nanas didominasi oleh karbon dengan persentasi atom berkisar 79-83% dan oksigen 13-17,14% serta unsur – unsur lain seperti magnesium, kalium, dan kalsium berasal dari serat daun nanas (lihat lampiran 4)

### 4.3 Isoterm Adsorpsi-desorpsi Gas N<sub>2</sub>

*Surface Area Analyzer* (SAA) berfungsi untuk menentukan luas permukaan material, distribusi pori dari material dan isotherm adsorpsi suatu gas pada suatu sampel (Grandys et al.,2004). Prinsip dasarnya adalah mekanisme adsorpsi gas (nitrogen, argon, dan helium) pada permukaan suatu bahan padat yang akan dikarakterisasi. Untuk mengetahui karakterisasi karbon aktif yang diperoleh maka dilakukan karakterisasi fisis yaitu Analisa luas permukaan dan distribusi ukuran pori. Beberapa metode untuk analisisnya telah banyak dikembangkan seperti metode Brunauer Emmet Teller (BET) menggunakan adsorpsi gas N<sub>2</sub>, Langmuir, metode t-plot, dan metode Barret Joyner Halenda (BJH) untuk mengubah data yang dihasilkan yaitu berupa jumlah gas yang diserap pada berbagai tekanan dan suhu tertentu menjadi luas permukaan, distribusi pori, volume pori dan lain sebagainya (Siti et al.,2015). Kurva adsorpsi dan desorpsi dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.3



**Gambar 4.3** Kurva adsorpsi dan desorpsi dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta*.

Pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara volume adsorpsi ( $\text{cm}^3\text{g}^{-1}$ ) terhadap tekanan relative (atm). Kurva isotherm ini menunjukkan bahwa adsorpsi pada karbon aktif dari ampas biji kopi tergolong isotherm tipe IV berdasarkan klarifikasi IUPAC. Karakteristik tipe IV ini menunjukkan adanya *loop hysteresis* pada tekanan relative ( $P/P_0 = 0,4 - 0,99$ ), yang sesuai dengan kondensasi kapiler dalam ukuran mesopori (Biswal et al.,2013). Peningkatan adsorpsi yang terjadi

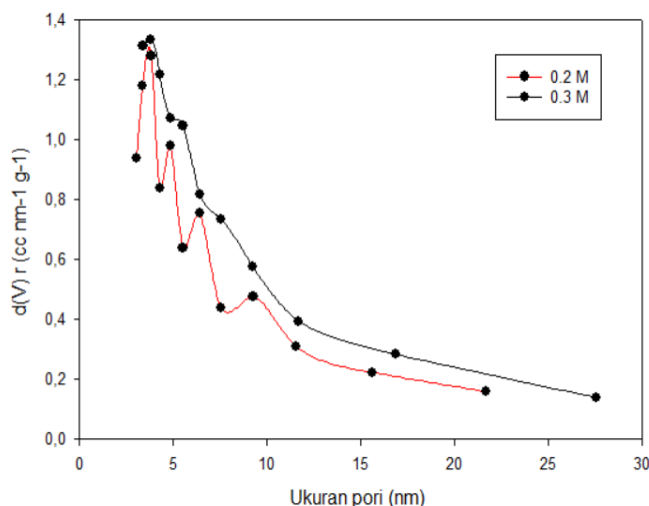
pada tekanan relative rendah ( $P/P_0 < 0,4$ ) menunjukkan adanya mikropori dalam sampel. Kurva tipe IV menunjukkan adanya struktur mikropori dan mesopori pada karbon aktif ampas biji kopi *robusta*, dimana struktur pori yang dominan adalah mesopore (lihat lampiran 5)

Struktur pori yang terbentuk berperan untuk meningkatkan nilai kapasitansi yang didapatkan. Makropori memiliki jarak yang relative pendek untuk terjadinya difusi ion pada permukaan elektroda (Zhang et al.,2017). Pada mesopori jalur transport ion relative lancar tanpa hambatan ke permukaan elektroda / elektrolit (Song et al.,2015). Mikropori dapat menghasilkan luas permukaan yang tinggi untuk meningkatkan area aktif pada ion sehingga memungkinkan terjadinya lapis ganda listrik (Wu et al.,2020). Ketiga Pori yang saling terhubung dapat mencapai kinerja superkapasitor dengan rapat energi yang tinggi (Fu et al.,2018)

**Tabel 4.2** Luas permukaan spesifik, ukuran pori rata – rata dan volume pori pada karbon aktif ampas biji kopi *robusta*

Konsentrasi aktivator	Luas permukaan spesifik ( $m^2/g$ )	Ukuran pori rata – rata (nm)	Volume pori ( $cm^3/g$ )
0,2 M	660,514	4,5453	0,7505
0,3 M	739,911	4,4338	0,8220

Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa luas permukaan yang paling tinggi pada karbon aktif ampas biji kopi *robusta* didapatkan pada konsentrasi 0,3 M sebesar 739,911  $m^2/g$ . Pada table 4.2 juga memperlihatkan bahwa adanya peningkatan volume total dari pori seiring dengan terjadinya peningkatan pada luas permukaan spesifik (Lowell et al.,2004). Hal yang serupa juga dilaporkan oleh penelitian (Aziz et al.,2020), mengenai pembuatan elektroda karbon aktif dari limbah ampas teh yang diaktivasi dengan NaOH untuk diaplikasikan sebagai elektroda superkapasitor, dimana volume total pori berbanding terbalik dengan ukuran rata – rata pori. Semakin kecil ukuran rata – rata pori maka semakin besar luas permukaan spesifik yang dihasilkan. Gambar distribusi ukuran pori dari karbon aktif ampas biji kopi *robusta* dapat dilihat dari gambar 4.4



**Gambar 4.4** Distribusi ukuran pori dari karbon aktif biji kopi *robusta*

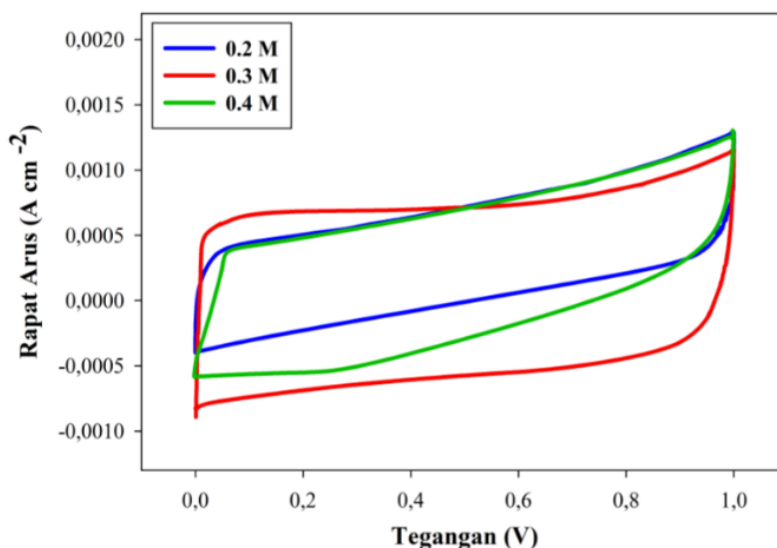
Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara perubahan  $dV(r)$  ( $\text{cc nm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) terhadap ukuran pori (nm). Distribusi ukuran pori pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa karbon aktif tersebut memiliki ukuran pori yang tidak seragam tetapi masih berada pada rentang mesopori, hal ini sesuai dengan kurva isotherm tipe IV dimana adsorpsi pada permukaan mesopori memiliki kecenderungan terjadinya pembentukan multilayer yang diikuti dengan kondensasi kapiler (isotherm tipe IV dan V).

#### 4.4 Analisis pengukuran sifat elektrokimia sel superkapasitor (Metode CV)

Cyclic Voltammetry (CV) adalah salah satu teknik yang banyak digunakan dalam pengukuran sifat elektrokimia. Pengukuran menggunakan metode voltametri siklik dilakukan untuk memberikan informasi tentang sifat sel elektrokimia seperti potensial, kapasitansi dan batas lama digunakan (cycle life) (Kalpana et al.,2009). Kapasitansi spesifik ( $\text{F g}^{-1}$ ) merupakan kemampuan dari suatu elektroda untuk menyimpan muatan pada tegangan tertentu per satuan massa dari elektroda. Data hasil pengukuran CV merupakan hubungan dari rapat arus (A) dan tegangan (V) yang membentuk kurva hysteresis. Arus terbagi menjadi 2 yaitu arus *charge* ( $I_c$ ) dan arus *discharge* ( $I_d$ ). Arus *charge* terjadi saat ion – ion yang berasal dari variasi elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 M dan  $\text{KOH}$  1 M yang diberikan mulai memasuki pori dari elektroda ketika diberi tegangan 0-1 V, sedangkan arus *discharge* terjadi saat

ion – ion kembali keluar dari pori ketika tegangan dilepaskan yaitu dari 1-0 V (Taer et al.,2017).

Analisis dengan menggunakan CV menghasilkan kurva bentuk persegiempat yang terdistorsi, hal tersebut menandakan bahwa superkapaitor memiliki sifat EDLC yang normal (Scott et al.,2016). Laju pemindaian sebesar 1 mV/s berarti tegangan dinaikan sebesar 1 mV setiap 1 detik sehingga mencapai tegangan 1000 mV atau 1 V. Laju pemindaian 1 mV/s membutuhkan waktu yang lebih lama untuk ion – ion yang berasal dari larutan elektrolit terdifusi secara merata untuk mengisi pori elektroda karbon. Pada laju pemindaian 1 mV/s, ion – ion akan berdifusi secara sempurna pada permukaan elektroda sehingga cocok digunakan untuk penentuan nilai kapasitansi spesifik (Taer et al.,2009). Kurva CV untuk elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M pada penelitian dapat dilihat pada gambar 4.5



**Gambar 4.5** Kurva CV untuk elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M

Gambar 4.5 menunjukkan kurva CV untuk sel superkapasitor dari ampas biji kopi *robusta* yang diuji menggunakan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M. Kurva CV menunjukkan bentuk persegiempat yang terdistorsi yang menandakan bahwa superkapasitor memiliki sifat EDLC yang normal (Scott, 2016), hal ini mengindikasikan bahwa sel superkapasitor yang diuji memiliki sifat lapisan ganda listrik (EDLC) yang normal. Bentuk persegi empat ini juga menandakan adanya kombinasi antara mikropori dan mesopori, dan terlihat juga arus yang dihasilkan oleh sel superkapasitor meningkat secara signifikan. Kondisi ini menunjukkan



bahwa ion difusi dalam elektroda terjadi tanpa hambatan, dan rata – rata pori pada elektroda berupa mikropori dan mesopori (Taer et al.,2017).

Pada gambar 4.5 menunjukkan luas daerah yang terbentuk antara arus charge ( $I_c$ ) dan arus discharge ( $I_d$ ) yang mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan oleh elektroda karbon.  $I_c$  merupakan arus yang terjadi pada saat proses pengisian muatan (charge) yang ditunjukkan oleh kurva bagian atas, sedangkan  $I_d$  merupakan arus yang terbentuk pada saat proses pengosongan (discharge) yang ditunjukkan oleh kurva bagian bawah. Semakin besar daerah kurva  $I_c - I_d$  yang terbentuk maka nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon yang dihasilkan akan semakin besar (Taer, et Al. 2009). Selain kurva  $I_c$  dan  $I_d$  yang lebar, massa elektroda juga mempengaruhi besarnya kapasitansi spesifik yang dihasilkan, semakin kecil massa elektroda maka kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi (Taer, et al.,2009).

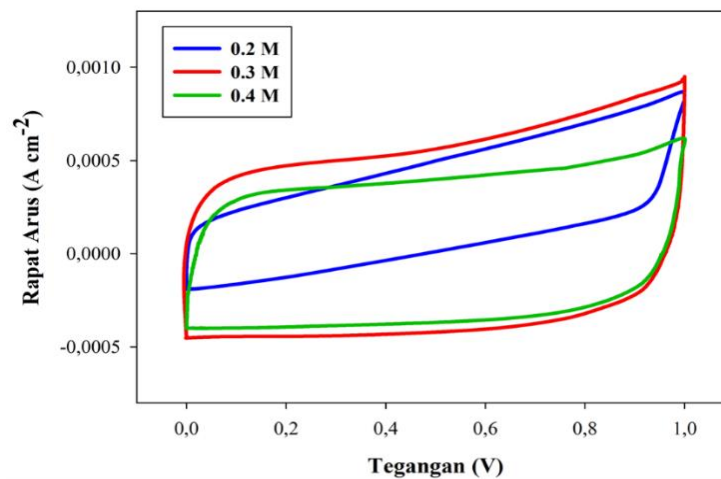
**Tabel 4.3** Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dengan elektrolit 1 M  $H_2SO_4$

Konsentrasi aktivator	$C_{sp}$ ( $F/g^{-1}$ )	E ( $Wh\ kg^{-1}$ )	P ( $W\ kg^{-1}$ )
0,2 M	42	5,8333	21,0209
0,3 M	130	18,0555	65,0649
0,4 M	84	11,6666	42,0418

Pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa konsentrasi sampel 0,3 M memiliki nilai kapasitansi tertinggi 130  $F/g^{-1}$ , sedangkan sampel dengan konsentrasi 0,2 M memiliki kapasitansi terendah yaitu 42  $F/g^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa kinerja elektrolit  $H_2SO_4$  menunjukkan kinerja yang baik, karena  $H_2SO_4$  memiliki konduktivitas ion yang sangat tinggi, dan hambatan yang rendah (Zhong et al.,2015). Selain itu, elektrolit  $H_2SO_4$  terurai menjadi ion  $H^+$  dan ion  $SO_4^{2-}$  dalam larutan dan memiliki ukuran ion yang sangat kecil sehingga mudah berinteraksi dalam proses pengisian dan pengosongan (Endo et al.,2001), serta elektrolit  $H_2SO_4$  memiliki diameter ion yang sesuai untuk difusi ke pori -pori karbon aktif berbasis biomassa (Taer et al.,2015). Hal yang serupa juga dilaporkan oleh

penelitian (Aziz et al.,2020), mengenai pembuatan elektroda karbon aktif dari limbah ampas teh yang diaktivasi dengan NaOH untuk aplikasi sebagai elektroda superkapasitor, nilai kapasitansi spesifik pada pembuatan elektroda karbon aktif dari limbah ampas teh dengan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar  $80 \text{ F/g}^{-1}$ , lapisan ganda listrik pada antarmuka elektroda/ elektrolit terjadi karena akumulasi ion pada permukaan elektroda karena adanya tarikan elektrostatik sehingga dengan meningkatnya lapisan listrik maka nilai kapasitansi juga meningkat.

Kurva CV untuk elektrolit KOH 1 M pada penelitian dapat dilihat pada gambar 4.6



**Gambar 4.6** Kurva CV untuk elektrolit KOH 1 M

Gambar 4. 6 Menunjukkan kurva CV untuk sel superkapasitor berbahan dasar ampas biji kopi *robusta* yang diuji menggunakan elektrolit 1 M KOH. Analisis pada kurva berbentuk persegiempat yang terdistorsi (Scott, 2016), meskipun arus yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Kurva  $I_c - I_d$  yang terbentuk mengindikasikan nilai kapasitansi paling tinggi diperoleh pada sampel dengan konsentrasi 0,3 M, karena memiliki luas daerah kurva  $I_c - I_d$  yang paling besar, sedangkan sampel 0,2 M, diindikasikan memiliki nilai kapasitansi spesifik yang paling rendah karena memiliki luas daerah kurva  $I_c - I_d$  yang paling kecil (Taer et al.,2009).

**Tabel 4.4** Nilai kapasitansi sel superkapasitor dengan elektrolit 1 M KOH

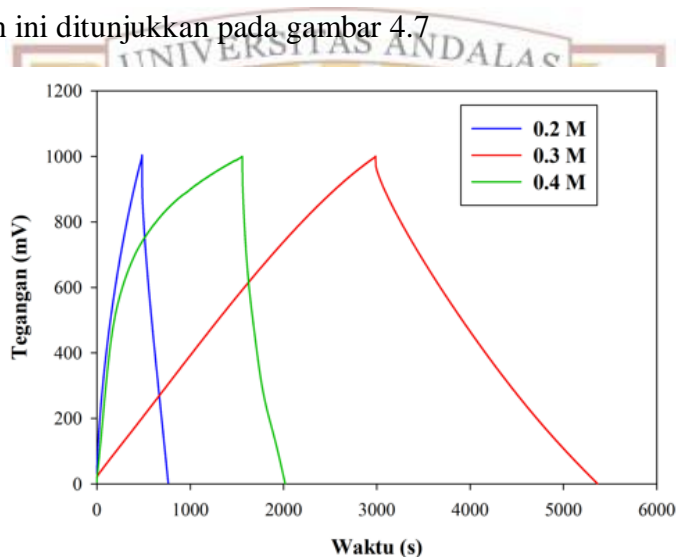
Konsentrasi Aktivator	Csp (F/g-1)	E (Wh kg <sup>-1</sup> )	P (W kg <sup>-1</sup> )
0,2 M	29	4,0277	14,5142
0,3 M	109	15,1389	54,5545
0,4 M	73	10,1389	36,5365

Tabel 4.4 menunjukkan nilai kapasitansi tertinggi adalah sampel 0,3 M sebesar 109 F/g<sup>-1</sup>. sedangkan sampel dengan konsentrasi 0,2 M dengan kapasitansi terendah yaitu 29 F/g<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan kinerja elektrolit KOH masih menunjukkan kinerja yang baik (Taer et al.,2015). Hal tersebut dikarenakan elektrolit hidroksida sangat larut dalam air serta anion OH<sup>-</sup> memiliki konduktivitas yang sangat baik sebagai elektrolit superkapasitor (Robinson et al.,2002).

Nilai kapasitansi sangat berpengaruh dalam kinerja superkapasitor, pengaruh pemberian tegangan yang dihasilkan pada sel superkapasitor adalah berupa rapat arus, dimana nilai arus ditentukan oleh pergerakan ion-ion didalam sebuah pori elektroda dengan membentuk lapisan pasangan muatan (Taer et al.,2016). Pergerakan ion dipengaruhi oleh ukuran, konduktivitas dan mobilitas ion dari suatu elektrolit. Semakin tinggi konduktivitas dan mobilitas ion maka semakin kecil ukuran ion sehingga pergerakan ion pada permukaan elektroda/elektrolit semakin cepat yang dapat meningkatkan kapasitansi spesifik superkapasitor (Berzegar et al.,2015). Pada hal ini, elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH memiliki ukuran diameter ion yang berbeda – beda. Diameter elektrolit dari H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,26 nm sedangkan KOH 0,36 nm (Inagaki et al 2010). Ukuran diameter ion H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dihasilkan lebih kecil sehingga menyebabkan lebih banyak berdifusi kedalam pori elektroda karbon dibandingkan dengan elektrolit KOH. Semakin banyak ion yang dapat berdifusi maka akan semakin banyak pula lapisan ganda yang dihasilkan sehingga kapasitansi spesifiknya semakin besar (Schneuwly, 2000).

#### 4.5 Analisa Galvano Charge Discharge (GCD)

*Galvanostatic charge discharge* merupakan metode lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi sifat elektrokimia superkapasitor. Superkapasitor melepaskan dua titik tegangan yang ditentukan pada arus konstan. Jenis metoda ini lebih akurat untuk menentukan kinerja superkapasitor. Plot tegangan yang dihasilkan dari waktu ke waktu adalah linier, dengan kemiringan positif dan negative. Penyimpangan dari linieritas dapat terjadi karena peningkatan tegangan setiap pertambahan waktu, dengan resistansi yang sama dan menyebabkan tegangan sel turun dengan cepat (penurunan IR) saat beralih dari pengisian daya ke pengosongan (Kampouris et al.,2015). Kurva GCD untuk elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.7



**Gambar 4.7** Kurva GCD untuk elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M

Pada gambar 4.7 menunjukkan kurva GCD untuk sel superkapasitor berbahan asal ampas kopi yang diuji menggunakan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M, dapat dilihat bahwa ketiga elektroda dengan konsentrasi sampel 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M menunjukkan waktu charge – discharge yang berbeda. Elektroda dengan konsentrasi sampel 0,3 M menunjukkan waktu pengukuran charge – discharge yang jauh lebih lama dari elektroda dengan konsentrasi 0,2 M dan 0,4 M. Menurut (Ismanto et al.,2010) perbedaan waktu pada saat proses charge – discharge merupakan factor yang dapat mempengaruhi bentuk simetri dari segitiga sama kaki pada grafik. Perbedaan waktu charge – discharge yang sedikit akan membentuk segitiga dimana segitiga sama kaki lebih simetris yang mengindikasikan efisiensi yang semakin tinggi pada saat charge discharge. Efisiensi yang tinggi pada superkapasitor menunjukkan bahwa elektroda karbon dapat berinteraksi

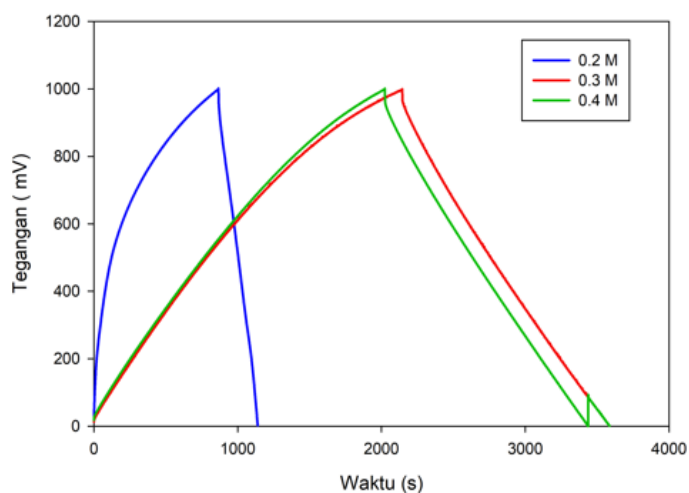
dengan elektrolit atau dengan kata lain karbon memiliki hydrophilicity tinggi pada permukaannya.

**Tabel 4.5** Nilai kapasitansi spesifik dan resistansi spesifik pada elektrolit 1 M  $H_2SO_4$

Konsentrasi sampel	Csp ( $F g^{-1}$ )	Resistansi ( $10^{-3} \Omega$ )
0,2 M	62,79	64
0,3 M	198,53	19
0,4 M	125,92	21

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi spesifik tertinggi adalah  $198,53 F/g^{-1}$  didapatkan dari konsentrasi 0,3 M. Hal ini karena elektroda dengan konsentrasi sampel 0,3 M dapat diisi dengan lebih banyak ion atau elektrolit (Taer et al 2015), dibanding dengan elektroda dengan konsentrasi sampel 0,2 M dan 0,4 M. Serta sampel dengan konsentrasi 0,2 M dan 0,4 M memiliki waktu pengosongan yang lebih pendek dari pada sampel 0,3 M. Sampel 0,3 M memiliki waktu pengosongan yang lama. Selain itu, ada potensi penurunan selama pelepasan awal masing – masing sel, hal ini disebabkan konduktivitas yang baik dari sifat mesopori yang ada pada sampel (Taer, 2011) (lihat lampiran 3).

Kurva GCD untuk elektrolit KOH 1M pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.8



### Gambar 4.8 Kurva GCD untuk elektrolit KOH 1M

Pada gambar 4.8 menunjukkan kurva GCD untuk sel superkapasitor berbahan asal ampas kopi yang diuji menggunakan elektrolit KOH 1 M. Berdasarkan gambar 4.8 dapat dilihat bahwa ketiga elektroda dengan konsentrasi sampel 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M menunjukkan waktu charge – discharge yang berbeda. Elektroda dengan konsentrasi sampel 0,3 M dan 0,4 M menunjukkan waktu pengukuran charge – discharge yang jauh lebih lama dari elektroda dengan konsentrasi 0,2 M.

**Tabel 4.6** Nilai kapasitansi spesifik dan resistansi spesifik pada elektrolit 1 M KOH

Konsentrasi sampel	Csp (F g <sup>-1</sup> )	Resistansi (10 <sup>-3</sup> Ω)
0,2 M	44,60	30
0,3 M	172,66	28
0,4 M	111,06	23

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai kapasitansi spesifik tertinggi adalah 172,66 F/g<sup>-1</sup> yang didapatkan dari konsentrasi 0,3 M. Hal ini menyebabkan elektroda dengan konsentrasi sampel 0,3 M dan 0,4 M dapat diisi dengan lebih banyak ion atau elektrolit (Taer et al 2015) dibanding dengan elektroda dengan konsentrasi sampel 0,2 M. Serta Superkapasitor berdasarkan sampel 0,2 M memiliki waktu pengosongan yang lebih pendek dari pada sampel 0,3 M dan 0,4 M. Sampel 0,3 M dan 0,4 M memiliki yang terpanjang waktu pengosongan.



## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan Analisa data yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulannya antara lain:

1. Variasi konsentrasi activator pada 0,2 M, 0,3 M dan 0,4 M, didapatkan bahwa konsentrasi activator 0,3 M memiliki pengaruh yang paling bagus dalam pembuatan elektroda ampas biji kopi.
2. Karakterisasi menggunakan elektroda karbon dari ampas biji kopi *robusta* meliputi analisa densitas, penurunan densitas setelah karbonisasi-aktivasi berkisar antara 9% - 35%. Luas permukaan spesifik elektroda karbon tertinggi adalah  $739,911 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , pada pengujian SEM pada elektroda ampas biji kopi pada konsentrasi 0,3 M bentuk permukaannya yang kasar dan berpori, kandungan unsur elektroda karbon berdasarkan karakterisasi EDX didominasi oleh unsur karbon yaitu 49,37%
3. Kapasitansi spesifik elektroda karbon ampas biji kopi *robusta* berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode CV diperoleh kapasitansi spesifik dengan elektrolit 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah  $130 \text{ F/g}^{-1}$  pada konsentrasi 0,3 M, dan pada pengujian menggunakan metode GCD diperoleh kapasitansi spesifik dengan elektrolit 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  adalah  $198,53 \text{ F/g}^{-1}$  pada konsentrasi 0,3 M.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk mendapatkan elektroda karbon aktif dari ampas biji kopi *robusta* dengan sifat kapasitif yang lebih tinggi maka penulis menyarankan agar preparasi karbon aktif dilakukan dengan beberapa perlakuan seperti memvariasikan suhu aktivasi fisika seperti 500 °C, 600 °C, dan 700 °C atau menggunakan activator kimia yang berbeda.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J. (2017). Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy. In *Membrane Characterization*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00009-7>
- Aprilia, F. R., Ayuliansari, Y., Putri, T., Azis, M. Y., Camelina, W. D., & Putra, M. R. (2018). ANALISIS KANDUNGAN KAFEIN DALAM KOPI TRADISIONAL GAYO DAN KOPI LOMBOK MENGGUNAKAN HPLC DAN SPEKTROFOTOMETRI UV/VIS. *BIOTIKA Jurnal Ilmiah Biologi*
- Arni, Labania, H., dan Nismayanti.,2014, Studi Uji Karakteristik Fisis Briket Bioarang Sebagai Sumber Energi Alternatif, *Jurnal of Natural Science* 3(1), 89-98
- Aziz, H., Tetra, O.N, Alif, A., Syukri. Ramadhan. W. 2016. Electrical properties of supercapacitor electrode-based on activated carbon from waste palm kernel shells. *Der Pharma Chemica*. 8(15), 227-232.
- Aziz, H., Tetra, O.N., Admin, A., Syukri, Perdana Y.A. 2017. Performance Karbon Aktif dari Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Zarah* 2, 1-6.
- Aziz, H., Tetra, O.N., Alif. A., Syukri and Ramadhan, W. (2016). Electrical Properties of Supercapacitor ElectrodeBased on Activated Carbon from Waste Palm Kernel Shells. *Der Pharma Chemica*. 8(15):227-232
- Barmawi, I., Taer, E., Umar, A., Lukita, J., Lustania. 2012. Penumbuhan Nanopartikel Logam dengan Metode Kimia Basah untuk Meningkatkan Prestasi Superkapasitor Elektrokimia, *Prosiding SNTK TOPI*, Pekanbaru.
- Barzegar, F., Manyala, N., Momodu, D.Y., Fashedemi, O.O., Bello, A., dan Dangbegnon, J.K., 2015, Investigation of Different Aqueous Electrolytes on the Electrochemical Performance of Activated Carbon based Supercapacitors, *RSC Adv.*, 5, 107482-107487.
- Boujibar, O., Ghosh, A., Achak, O., Chafik, T. & Ghamouss, F. 2019. A high energy storage supercapacitor based on nanoporous activated carbon electrode made from Argan shells with excellent ion transport in aqueous

- and non-aqueous electrolytes. *Journal of Energy Storage*, 26(September): 100958.
- Budiono, A., Suhartana, Gunawan. 2009. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan Asam Sulfat dan Asam Posfat untuk Adsorpsi Fenol. *EJournal*, 1-12.
- Burke, A. 2000. Ultracapacitors: why, how, and where is the technology. *Journal of power sources*, 91(1):37–50. Tersedia di <http://www.sciencedirect.com/>
- Chand, B. Roop, Meenakshi, G. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. New York: Lewis.
- Deng, P., Lei, S., Wang, W., Zhou, W., Ou, X., Chen, L., Xiao, Y. & Cheng, B. 2018. Conversion of biomass waste to multi-heteroatom-doped carbon networks with high surface area and hierarchical porosity for advanced supercapacitors. *Journal of Materials Science*, 53(20): 14536–14547. Tersedia di <https://doi.org/10.1007/s10853-018-2630-8>.
- Endo, M., Takeda, T., Kim, Y.J., Koshiba, K. & Ishii, K. 2001. High Power Electric Double Layer Capacitor (EDLC's); from Operating Principle to Pore Size Control in Advanced Activated Carbons. *Carbon Science*, 1(3): 117–128.
- Fu, Y., Zhang, N., Shen, Y., Ge, X. & Chen, M. 2018. Micro-mesoporous carbons from original and pelletized rice husk via one- step catalytic pyrolysis. *Bioresource Technology*, 269: 67–73. Tersedia di <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.083>.
- García, P., G. 2017. Activated carbon from lignocellulosics precursors a review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- González-García, P., 2017, 'Activated carbon from lignocellulosics precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications', *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 1393-1414
- Grandys, P., Rika, D., Istria, P.R., Ahmad, F. Amanda, P. 2004. Analisis luas permukaan arang aktif dengan menggunakan metode BET (SAA). Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Gultom, E. M., & Lubis, M. T. (2014). *APLIKASI KARBON AKTIF DARI*

CANGKANG KELAPA SAWIT DENGAN AKTIVATOR H<sub>3</sub> PO<sub>4</sub> UNTUK PENYERAPAN LOGAM BERAT Cd DAN Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU*.

Inagaki, M., Konno, H. & Tanaike, O. 2010. Carbon materials for electrochemical capacitors. *Journal of Power Sources*, 195(24): 7880–7903. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.06.036>.

Iro, Z., S., Subramani C., Dash S., S. 2016. A Brief Review on Electrode Materials for Supercapacitor. *International Journal of Electrochemical Science* 1110628– 10643.

Ismanto, A. E., Wang, Steven., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S. 2010. Preparation of capacitor's electrode from cassava peel waste. *Bioresource Technology*; 101: 3534.

Jayalakshmi, M. 2008. Simple Capacitors to Supercapacitors, *Int. J. Electrochem. Sci.* Vol 3, 1196–1217.

Kalpana, D., Cho, S.H., Lee, S.B., Lee, Y.S., Misra, R., and Renganthan, N.G., 2009, Recycled waste paper-a new source of raw material for electric double-layer capacitors, *Journal of Power Sources* 190: 587-591.

Kamikuri, N., Hamasuna, Y., Tashima, D., Fukuma, M., Kumagai S., Madden J., D., W. 2014. Low-cost Activated Carbon Materials Produced from Used Coffee Grounds for Electric Double-layer Capacitors. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)* 3492-501

Kampouris, D.K., Ji, X., Randviir, E.P. & Banks, C.E. 2015. A new approach for the improved interpretation of capacitance measurements for materials utilised in energy storage. *RSC Advances*, 5(17): 12782–12791. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1039/C4RA17132B>.

Kang, X., Zhu, H., Wang, C., Sun, K., Yin, J. 2018. Biomass derived hierarchically porous and heteroatom-doped carbons for supercapacitors. *Journal of Colloid and Interface Science* 509369–383.

Khu, L. V., Thu, T. L. T. 2014. Activated Carbon Derived From Rice Husk By Naoh Activation and Its Application In Supercapacitor. *Progress in Natural Science Materials International*, 24, 191-198.

- Kwiatkowski, M., Broniek, E. 2017. An Analysis of the Porous Structure of Activated Carbons Obtained From Hazelnut Shells by Various Physical and Chemical Methods of Activation. *Colloids and Surfaces A*.
- Kwon, S. H., Lee, E., Kim, B. S., Kim, S. G., Lee, B. J., Kim, M. S., & Jung, J. C. (2014). Activated carbon aerogel as electrode material for coin-type EDLC cell in organic electrolyte. *Current Applied Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2014.02.010>
- Li, C., Iqbal, M., Lin, J., Luo, X., Jiang, B., Malgras, V., ... Yamauchi, Y. (2018). Electrochemical Deposition: An Advanced Approach for Templated Synthesis of Nanoporous Metal Architectures. *Accounts of Chemical Research*. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00119>
- Lowell, S., Joan E., S., Martin, A., T., Matthias, T., 2004, 'Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density', The Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 349 hal
- Liu, Zhi., Zhu, zhi., Dai, Jiangdong., Yan, Yongsheng. 2018. Waste Biomass Based-Activated Carbons Derived from Soybean Pods as Electrode Materials for High-Performance Supercapacitors. *Journal Chem Pub Soc Europe*, School of chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu University.
- Marsh, H., Rodriguez-Reinoso, F. 2006. Activated carbon, Material Science Books Elsevier Great Britain India. 70-105.
- Miller, E.E., Hua, Y. & Tezel, F.H. 2018. Materials for energy storage: Review of electrode materials and methods of increasing capacitance for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, 20(February): 30–40. Tersedia di <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.08.009>.
- Mison, I., I., Khairiyah, N., Radhiyah, M., Z., Baiju, A., A., Jose, V., R. 2015. Electrochemical properties of carbon from oil palm kernel shell for high performance supercapacitors. *Electrochimica Acta*.
- Mossfika, E., Syukri, S., & Aziz, H. (2020). Preparation of Activated Carbon from Tea Waste by NaOH Activation as A Supercapacitor Material. *Journal of Aceh Physics Society*.
- Pandolfo, A.G. & Hollenkamp, A.F. 2006. Carbon properties and their role in supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 157(1): 11–27.

- Pambayun, S. G. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator  $ZnCl_2$  dan  $Na_2CO_3$  sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik POMITS*, 1(2), 2301-9271.
- Peng, C., Yan, X.B., Wang, R.T., Lang, J.W., Jing Ou. J., Ji Xue, Q. (2013). Promising Activated Carbons From Waste TeaLeaves And Their Applicatio In High Performance Supercapacitors Electrodes. *Electrochimica Acta*, 87, 401-408
- Puspita Sari, Fitria. 2014. Efek Variasi Waktu Tunggu Ball Milling Terhadap Karakteristik Elektro Kimia Sel Super Kapasitor Berbasis Karbon. Skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Reny, Yantika, Tetra, O.N., Admin, A., Emriadi. 2014. Pengaruh Elektrolit  $H_2SO_4$  Terhadap Sifat Listrik Elektroda Campuran Zeolit Dari Bottom Ash Dan Resin Damar Sebagai Superkapasitor. *Jurnal Kimia Unand*, 3
- Rossi, M. 2014. Hydrogel-Polymer Electrolytes Based on Polivinil Alcohol and Hydroxyethylcellulose for Supercapacitor Applications, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 9 4251-4256.
- S. Koohi-Fayegh, MA Rosen, *Tinjauan jenis penyimpanan energi, aplikasi dan perkembangan terakhir* , *J. Energy Storage*. 27 (2020)101047.
- Salita S, Via. 2013. Mesoporus carbon Materials as Electrodes for Electrochemical Supercapacitors. *Int. J. Electrochem. Sci*, 903-916.
- Sattayarut, V., Wanchaem, T., Ukkakimapan, P., Yordsri, V. 2019. Nitrogen self – doped activated carbons via the direct activation of *samanea saman* leaves for high energy density supercapacitors. *Royal societ of chemistry* 20 (June) 21724.science/article /pii/S0378775300004857%5Cnpapers 3 ://publication/livfe/id/55939.
- Scott, K. 2016. Electrochemical principles and characterization of bioelectrochemical systems. *Microbial electrochemical and fuel cells*. Elsevier Ltd. Tersedia di <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-375-1.00002-2>.

- Siti, Z., Aris, W., Nur, H., Apriza, M., Yoga, A. P., Lutfi, N., Novita, D., R. 2015. Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). Dalam Pelatihan Instrumen 2015 Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negri Semarang, Semarang.
- Song, T., Liao, J.M., Xiao, J. & Shen, L.H. 2015. Effect of micropore and mesopore structure on CO<sub>2</sub> adsorption by activated carbons from biomass. *Xinxing Tan Cailiao/New Carbon Materials*, 30(2): 156–166. Tersedia di [http://dx.doi.org/10.1016/S1872-5805\(15\)60181-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1872-5805(15)60181-0).
- Suwandana, R., Suwandana, R. F., & Susanti, D. (2015). Analisis Pengaruh Massa Reduktor Zinc Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik ITS*.
- Taer, E, R Syech, And R Taslim. 2015. “Analisa Siklis Voltametri Superkapasitor Karet Berdasarkan Variasi Aktivator KOH” IV: 105–10.
- Taer, E., Agustino., Apriwandi., S. T., Taslim. R., Awitdrus, A ., K, Farma, R. 2020. Sintesis karbon nanofiber berasal dari serat daun nanas sebagai elektroda karbon untuk aplikasi superkapasitor. *Jurnal konversi dan penyimpanan energi elektrokimia Adv. Nat. Sci.: Nanosci. nanoteknologi*. 2021, vol. 18/031004-1
- Taer, E., Apriwandi., Agustino., S. T., Taslim. R., Mustika. 2020. Stuktur pori tiga dimensi dari karbon aktif monolitik yang diturunkan dari batang bamboo hierarkis untuk aplikasi superkapasitor. *Advanced Materials Research Vol(896) : Hal 22-30*.
- Taer, E., Apriwandi., Agustino., S. T., Taslim. R., Natalia ., K, Farma, R. 2020. Sintesis karbon aktif nano fiber elektroda yang terbuat dari daun akasia (*Acacia mangium wild*) sebagai superkapasitor. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. nanoteknologi*. 11 (2020) 025007 (7 hal)
- Taer, E., Satri., Taslim, R., Iwantono. 2014. Elektroda Komposit Karbon Aktif dari Kulit Ubi Kayu-Karbon Nano Tube-Polianelin Untuk Aplikasi Superkapasitor. *Seminar Rapat Tahunan ISBN : 978-602-70491-0-9*. Hal 39-46.
- Taer, E., Zulkifli, Arif, E. N., dan Taslim, R., 2016, Analisa Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor dari Kayu Karet terhadap Laju Scan berdasarkan Variasi Aktivasi HNO<sub>3</sub>, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(1), 29-34
- Taer, E., Zulkifli, Arif, E. N., dan Taslim, R., 2016, Analisa Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor dari Kayu Karet terhadap Laju Scan berdasarkan Variasi Aktivasi HNO<sub>3</sub>, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 1(1),

29-34

- Tetra, Olly Norita, Hermansyah Aziz, Emriadi, Hanif Wahyuni, And Admin Alif. 2016. "Performance Of TiO<sub>2</sub>-Carbon On Ceramic Template With Sodium Hydroxide Activation As Supercapacitor Electrode Materials." *Der Pharma Chemica* 8 (17): 26–30.
- Tetra, Olly Norita, Hermansyah Aziz, Syukri, Bustanul Arifin, and Asih Novia. 2018. "The Effect Of Addition Of Activated Carbons From Peon Performance Of Superkapasitor Base Of Activated Carbon Of Palm Kernel Shell." *Jurnal Zarah* 6(2): 47-52.
- Wang, C.-H., Wen, W.-C., Hsu, H.-C., & Yao, B.-Y. 2016. High-capacitance KOHactivated nitrogen-containing porous carbon material from waste coffee grounds in supercapacitor. *Advanced Powder Technology*, 27(4), 1387– 1395.
- wu, J., Xia, M., Zhang, X., Chen, Y., Sun, F., Wang, X., Yang, H. & Chen, H. 2020. Hierarchical porous carbon derived from wood tar using crab as the template: Performance on supercapacitor. *Journal of Power Sources*, 455(February): 227982. Tersedia di <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227982>.
- Yueming Li. 2011. KOH Modified Graphene Nanosheets for Supercapacitor Electrodes, *Journal of Power Source*, 196, 6003-6006
- Zhang, Y., Yu, S., Lou, G., Shen, Y., Chen, H., Shen, Z., Zhao, S., Zhang, J., Chai, S. & Zou, Q. 2017. Review of macroporous materials as electrochemical supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Science*, 52(19): 11201–11228
- Zhong, C., Deng, Y., Hu, W., Qiao, J., Zhang, L., dan Zhang, J., 2015, A Review of Electrolyte Materials and Compositions for Electrochemical Supercapacitors, *Chem.Soc.Rev.*, 44, 7484-7539
- Zulichatun, S., Wijayanti, A., Marfina, A., Pranata, Y. A., Nurbaeti, L., & Rahayuningsih, N. D. (2015). Analisis Luas Permukaan Zeolit Alam Termodifikasi Dengan Metode BET Menggunakan Surface Area Analyzer (SAA). *Pelatihan Instrumen*.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Skema Kerja

#### 1. Preparasi Ampas Biji Kopi *Robusta*

Ampas Biji Kopi *Robusta*

- dicuci dengan aquades
- dikeringkan pada suhu ruang
- dioven pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$  sampai berat

konstan Ampas Biji Kopi Kering

- didinginkan pada suhu ruang
- dihaluskan dengan *ball milling*
- diayak menggunakan ayakan berukuran  $38\ \mu\text{m}$
- disiapkan untuk proses

aktivasi Ampas Biji Kopi *Robusta*

#### 2. Proses Aktivasi Ampas Biji Kopi *Robusta*

Ampas Biji Kopi *Robusta*

- ditimbang sebanyak 20 gr
- diaktivasi menggunakan larutan NaOH dengan perbandingan variasi konsentrasi 0.2 M, 0.3 M dan 0.4 M dalam 100 mL aquades
- diaduk sampai homogen selama  $\pm 3$  jam pada suhu  $80^{\circ}\text{C}$
- disaring dan dioven pada suhu  $110^{\circ}\text{C}$

selama 1 hari Karbon Aktif Kering

#### 3. Proses Pembuatan Pelet Elektroda Superkapasitor

Karbon Aktif Kering

- dihaluskan dan ditimbang sebanyak 0,7 gram
- dicetak menjadi pelet menggunakan *hidroullic press* pada



tekanan 8ton dan ditahan selama 2 menit

- ditimbang massa dan diukur diameter serta ketebalan
- disiapkan untuk proses

karbonisasi Pelet Elektroda

Superkapasitor

#### 4. Proses Karbonisasi Pelet Elektroda Superkapasitor

Pelet Elektroda Superkapasitor

- dibungkus menggunakan tisu
- ditempatkan dalam tabung *furnace* dibawah atmosfer  $N_2$  dengan laju pemanasan  $5^\circ C/menit$
- dipanaskan secara bertingkat dengan suhu awal  $400^\circ C$  lalu ditahan selama 1 jam
- dinaikkan suhu hingga  $600^\circ C$  dan ditahan selama 1 jam
- dinaikkan lagi suhu hingga  $800^\circ C$  dan ditahan selama

1,5 jam Pelet Karbon Aktif Ampas Biji Kopi *Robusta*

#### 5. Preparasi Sel Superkapasitor

Pelet Karbon Aktif Ampas Biji Kopi *Robusta*

- ditimbang dan diukur diameter serta ketebalannya
- dicuci dengan aquades hingga pH netral
- dikeringkan dalam oven pada

suhu  $110^\circ C$  Pelet Kering

- dipoles dengan amplas hingga ketebalan sekitar 0.2 mm dan diameter sekitar 8 mm
- ditimbang massanya
- direndam dalam larutan elektrolit  $H_2SO_4$

selama 2 hari Pelet Elektroda Karbon Aktif

#### 6. Pembuatan Separator

Cangkang telur

- direndam dalam larutan HCl 1M selama 2 hari
- dipisahkan antara membran dan cangkangnya

- membran dicuci dengan akuades hingga pH netral
- dipotong kisaran

2x2 cm Membran cangkang

telur



## 7. Rangkaian Sel Superkapasitor

Elektroda Superkapasitor

- disusun bentuk sandwich yang dipisahkan oleh separator dibagian tengahnya
- dilakukan pengukuran sifat elektrokimia dengan *Cyclic Voltammetry* (CV) dan *Galvanostatic Charge-Discharge* (GCD)

Hasil (Csp)



## Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan NaOH

a. Konsentrasi 0,2 M

Diketahui :

$$\text{Mr NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi} = 0,2 \text{ M}$$

Dalam 100 mL aquades

$$\begin{aligned} \text{g NaOH} &= \frac{0,2 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 100 \text{ mL} \\ &= 0,8 \text{ g} \end{aligned}$$

b. Konsentrasi 0,3 M

Diketahui :

$$\text{Mr NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi} = 0,3 \text{ M}$$

Dalam 100 mL aquades

$$\begin{aligned} \text{g NaOH} &= \frac{0,3 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 100 \text{ mL} \\ &= 1,2 \text{ g} \end{aligned}$$

c. Konsentrasi 0,4 M

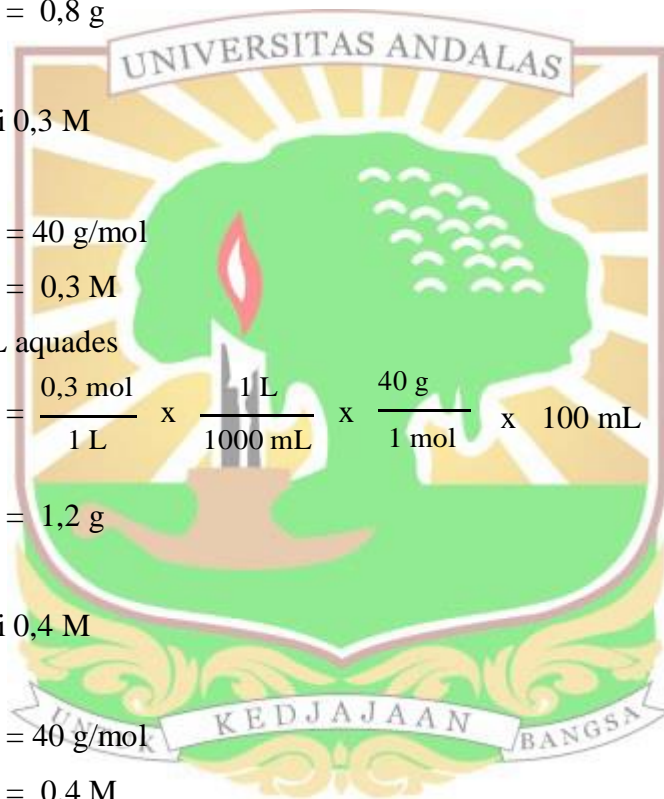
Diketahui :

$$\text{Mr NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi} = 0,4 \text{ M}$$

Dalam 100 mL aquades

$$\begin{aligned} \text{g NaOH} &= \frac{0,4 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times 100 \text{ mL} \\ &= 1,6 \text{ g} \end{aligned}$$



### Lampiran 3. Perhitungan Kapasitansi Spesifik menggunakan Metode GCD

a. Konsentrasi

NaOH 0.2 M

Diketahui :

$$I = 1 \text{ A/g}$$

$$\Delta t =$$

$$282.10^{-3} \text{ s}$$

$$\Delta V =$$

$$998.10^{-3} \text{ Voltm}$$

$$=$$

$$0,0045 \text{ g}$$

Maka nilai Csp adalah

$$\begin{aligned} C_{sp} &= \frac{I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \\ &= \frac{1 \cdot 282.10^{-3}}{0,00985 \cdot 998.10^{-3}} \\ &= 62 \text{ Fg}^{-1} \end{aligned}$$

b. Konsentrasi NaOH 0.3

Diketahui :

$$I = 1 \text{ A/g}$$

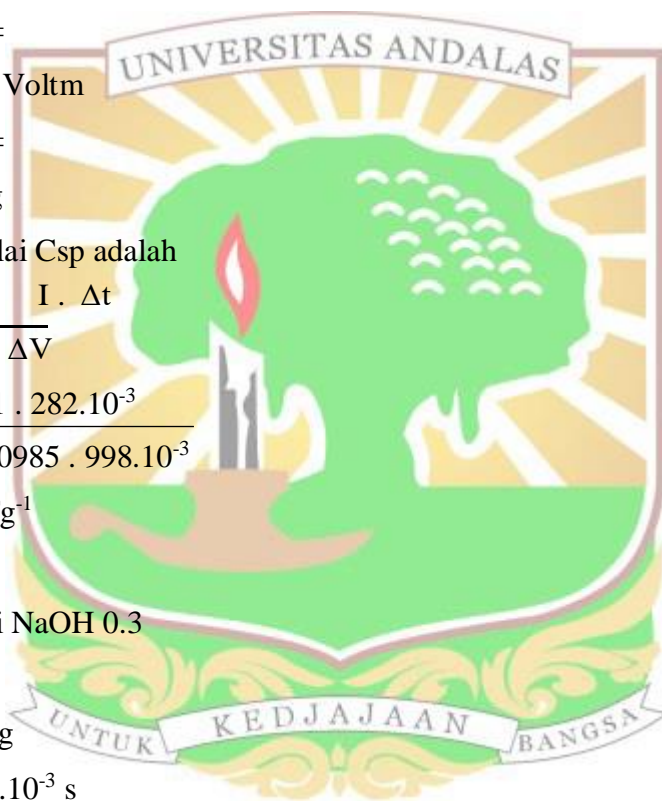
$$\Delta t = 2378.10^{-3} \text{ s}$$

$$\Delta V = 998.10^{-3} \text{ Volt}$$

$$m = 0,012 \text{ g}$$

Maka nilai Csp adalah

$$\begin{aligned} C_{sp} &= \frac{I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \\ &= \frac{1 \cdot 2378.10^{-3}}{0,012 \cdot 998.10^{-3}} \\ &= 198 \text{ Fg}^{-1} \end{aligned}$$



c. Konsentrasi

NaOH 0.4 M

Diketahui :

$$I = 1 \text{ A/g}$$

$$\Delta t =$$

$$465 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\Delta V =$$

$$998 \cdot 10^{-3} \text{ Voltm}$$

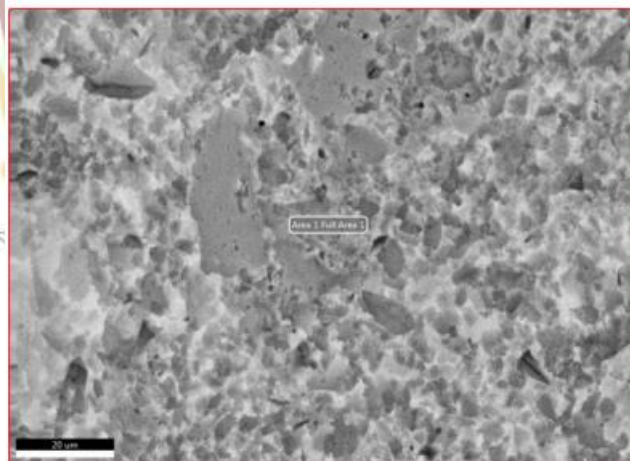
=

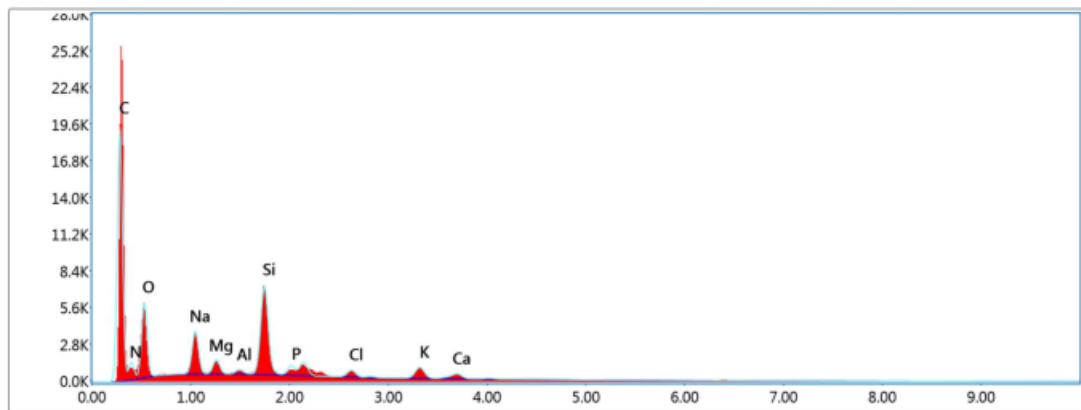
$$0,01265 \text{ g}$$

Maka nilai Csp adalah

$$\begin{aligned} \text{Csp} &= \frac{I \cdot \Delta t}{m \cdot \Delta V} \\ &= \frac{1 \cdot 465 \cdot 10^{-3}}{0,01265 \cdot 998 \cdot 10^{-3}} \\ &= 125 \text{ Fg}^{-1} \end{aligned}$$

**Lampiran 4. Hasil Karakterisasi *Energy Dispersive X-Ray (EDX)***





#### Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	49.37	59.93	1207.14	8.66	0.1811	1.0429	0.3517	1.0000
N K	10.16	10.58	85.15	22.40	0.0114	1.0155	0.1102	1.0000
O K	21.35	19.46	392.67	10.18	0.0369	0.9919	0.1741	1.0000
NaK	5.38	3.41	259.15	6.83	0.0261	0.8949	0.5407	1.0020
MgK	1.29	0.77	90.87	6.62	0.0077	0.9086	0.6577	1.0034
AlK	0.41	0.22	31.88	9.62	0.0028	0.8735	0.7760	1.0061
SiK	6.99	3.63	612.29	3.26	0.0543	0.8913	0.8677	1.0047
PK	1.05	0.49	69.76	4.17	0.0079	0.8548	0.8777	1.0068
ClK	0.92	0.38	54.50	7.08	0.0074	0.8269	0.9603	1.0148
KK	2.00	0.75	95.02	4.59	0.0167	0.8207	0.9957	1.0211
CaK	1.08	0.39	42.47	8.21	0.0092	0.8345	0.9989	1.0213

Lampiran 5. Hasil Isoterm BET Pada Konsentrasi 0.2 M dan 0.3 M



version 10.01

Analysis		Report	
Operator:ITS	Date:2021/07/03	Operator:ITS	Date:7/12/2021
Sample ID: Diana	Filename:	C:\QCdata\Physisorb\2020\20210703_01 NaOH_0,2M.qps	
Sample Desc: Serbuk	Comment:	3 Juli 2021	
Sample weight: 0.02196 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Analysis Time: 231.9 min	End of run:	2021/07/03 18:06:45 Instrument: Nova Station A	
Cell ID:	4		
t-Method	Calc. method: Carbon black		
Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Relative Pressure	Thickness (Å)	Volume @ STP (cc/g)
4.098800e-02	3.2459e+00	77.721
4.987600e-02	3.3039e+00	84.051
7.578500e-02	3.4739e+00	98.042
1.015340e-01	3.6440e+00	111.651
1.273180e-01	3.8155e+00	124.291
1.455800e-01	3.9376e+00	132.710
1.763030e-01	4.1445e+00	146.886
1.950100e-01	4.2713e+00	155.683
2.259350e-01	4.4822e+00	170.008
2.526030e-01	4.6654e+00	182.267
2.717780e-01	4.7980e+00	191.626
3.032940e-01	5.0172e+00	206.624
3.575990e-01	5.3990e+00	231.012
4.045010e-01	5.7330e+00	252.371
4.499890e-01	6.0606e+00	272.297
4.980190e-01	6.4105e+00	294.583
5.274800e-01	6.6271e+00	306.918
5.460630e-01	6.7645e+00	314.841
5.764370e-01	6.9904e+00	328.789
5.957500e-01	7.1349e+00	336.843
6.261380e-01	7.3636e+00	350.670
6.455770e-01	7.5107e+00	358.869
6.455770e-01	7.5107e+00	358.869
6.759300e-01	7.7418e+00	372.899
6.954740e-01	7.8914e+00	381.100
7.259730e-01	8.1263e+00	395.092
7.453630e-01	8.2765e+00	403.479
7.766220e-01	8.5200e+00	417.117
8.021340e-01	8.7200e+00	429.933
8.208000e-01	8.8670e+00	438.217
8.513550e-01	9.1091e+00	451.971
8.767010e-01	9.3111e+00	465.347
8.956940e-01	9.4632e+00	473.681
9.262770e-01	9.7095e+00	487.824
9.505630e-01	9.9063e+00	502.436
9.761250e-01	1.0114e+01	516.439
9.921580e-01	1.0246e+01	530.221
9.425610e-01	9.8413e+00	500.782
9.038990e-01	9.5291e+00	483.908
8.416670e-01	9.0321e+00	453.405
8.030120e-01	8.7269e+00	436.310
7.409270e-01	8.2421e+00	406.574
7.038870e-01	7.9561e+00	388.748
6.406950e-01	7.4737e+00	360.240
6.041360e-01	7.1979e+00	342.195
5.407690e-01	6.7253e+00	312.951
5.035770e-01	6.4512e+00	295.108
4.426480e-01	6.0075e+00	264.656
4.00020e-01	5.7008e+00	243.881
3.398040e-01	5.2733e+00	215.011
3.034190e-01	5.0181e+00	197.544
2.413340e-01	4.5879e+00	167.465
2.036750e-01	4.3302e+00	150.196
1.359970e-01	3.8735e+00	117.920
1.005310e-01	3.6373e+00	100.295
4.153200e-02	3.2494e+00	70.039



## V-t method summary

Thickness method: Carbon-black

Slope = 63.249

Intercept = -118.157

Correlation coefficient, r = 0.999164



Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction  
for NOVA instruments  
©1994-2007, Quantachrome Instruments  
version 10.01

Analysis Report  
Operator:ITS Date:2021/06/29 Operator:ITS Date:7/3/2021  
Sample ID: Diana Filename: C:\QCdata\Physisorb\2020\20210629\_01 NaOH 0,3M.qps  
Sample Desc: Serbuk Comment: 29 Juni 2021  
Sample weight: 0.02166 g Sample Volume: 0 cc  
Outgas Time: 3.0 hrs OutgasTemp: 300.0 C  
Analysis gas: Nitrogen Bath Temp: 77.3 K  
Press. Tolerance:0.100/0.100 (ads/des) Equil time: 60/60 sec (ads/des) Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)  
Analysis Time: 243.8 min End of run: 2021/06/29 17:07:37 Instrument: Nova Station A  
Cell ID: 12  
t-Method Calc. method: Carbon black  
Adsorbate Nitrogen Temperature 77.350K  
Molec. Wt.: 28.013 g Cross Section: 16.200 Å<sup>2</sup> Liquid Density: 0.808 g/cc

Relative Pressure	Thickness (Å)	Volume @ STP (cc/g)
3.739900e-02	3.2225e+00	86.910
4.841800e-02	3.2944e+00	94.992
7.400400e-02	3.4621e+00	107.381
9.513100e-02	3.6016e+00	116.776
1.251770e-01	3.8012e+00	130.710
1.457960e-01	3.9391e+00	138.983
1.770590e-01	4.1496e+00	150.006
1.968640e-01	4.2839e+00	157.800
2.274800e-01	4.4928e+00	168.633
2.471880e-01	4.6281e+00	176.165
2.766910e-01	4.8320e+00	187.320
3.038700e-01	5.0212e+00	197.341
3.589590e-01	5.4087e+00	217.279
4.065210e-01	5.7475e+00	232.914
4.506890e-01	6.0657e+00	249.386
5.010750e-01	6.4329e+00	265.945
5.205460e-01	6.5760e+00	274.762
5.526930e-01	6.8137e+00	284.707
5.733540e-01	6.9674e+00	291.170
5.990300e-01	7.1595e+00	302.447
6.213470e-01	7.3274e+00	309.658
6.512810e-01	7.5540e+00	321.503
6.708570e-01	7.7031e+00	330.056
7.025160e-01	7.9455e+00	340.430
7.229970e-01	8.1033e+00	347.012
7.500160e-01	8.3126e+00	360.876
7.713100e-01	8.4785e+00	368.550
8.026770e-01	8.7242e+00	378.843
8.214600e-01	8.8722e+00	387.222
8.507610e-01	9.1043e+00	400.371
8.714010e-01	9.2688e+00	408.150
9.018710e-01	9.5128e+00	420.093
9.220800e-01	9.6756e+00	435.026
9.508450e-01	9.9086e+00	447.704
9.702680e-01	1.0067e+01	456.974
9.914020e-01	1.0239e+01	485.236
9.434780e-01	9.8488e+00	460.380
8.920410e-01	9.4339e+00	436.348
8.382810e-01	9.0053e+00	417.173
8.034010e-01	8.7299e+00	405.233
7.419460e-01	8.2500e+00	380.731
7.022030e-01	7.9431e+00	369.136
6.416050e-01	7.4806e+00	344.284
6.024670e-01	7.1853e+00	332.133
5.417150e-01	6.7323e+00	307.082
5.037740e-01	6.4527e+00	294.170
4.449010e-01	6.0238e+00	266.950
3.909520e-01	5.6361e+00	243.830
3.531370e-01	5.3675e+00	229.891
2.916330e-01	4.9359e+00	203.712
2.537200e-01	4.6731e+00	189.444
1.918550e-01	4.2499e+00	163.254
1.544570e-01	3.9972e+00	148.696
1.042230e-01	3.6618e+00	125.951
4.317200e-02	3.2601e+00	97.926

V-t method summary  
Thickness method: Carbon-black  
Slope = 52.483  
Intercept = -66.094  
Correlation coefficient, r = 0.995606

## Lampiran 6. Foto Penelitian



Ampas biji kopi *robusta*



Dikeringkan dan ditimbang hingga berat konstan



Diayak menggunakan ayakan berukuran 38  $\mu\text{m}$



KOH dilarutkan dalam 100 mL aquadest pada konsentrasi yang berbeda



Dicampurkan dengan 20 gr ampas biji kopi *robusta*



Dikeringkan semalaman hingga kadar air hilang



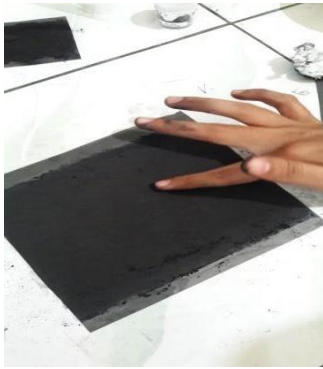
Ditimbang 0.7 g sampel, dicetak membentuk pelet menggunakan *hidroullic press* pada tekanan 8 ton dan diukur diameter serta ketebalannya



Dikarbonisasi menggunakan *furnace*  $\text{N}_2$  pada suhu  $800^\circ\text{C}$  secara bertingkat dengan laju pemanasan  $5^\circ\text{C}/\text{menit}$



Pelet elektroda karbon aktif setelah karbonisasi, dicuci menggunakan aquades hingga pH netral dan dikeringkan dalam oven



Dipoles hingga ketebalan sekitar 0.2 mm dan diameter sekitar 8 mm

Ditimbang massanya



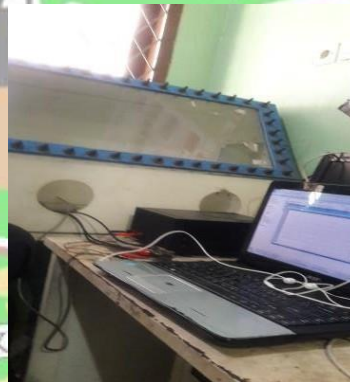
Direndam dalam larutan



olit  $H_2SO_4$  selama 2 hari



Disusun seperti sandwich dan dipisahkan oleh separator ditengahnya



Diukur sifat elektrokimianya menggunakan C

