

**PEMBUATAN SUPERKAPASITOR DARI KARBON AKTIF  
KULIT BUAH KAKAO SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI**

**TESIS**



**RAHMA FIKRI NURADI  
1820442005**

**Dosen Pembimbing :  
Dr.rer.nat. Muldarisnur, S.Pd, M.Si  
Prof. Dr.Yuli Yetri, M.Si**

**PROGRAM PASCASARJANA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2022**

**PEMBUATAN SUPERKAPASITOR DARI KARBON AKTIF  
KULIT BUAH KAKAO SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI**

**TESIS**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Megister Sains  
dari Universitas Andalas**



**RAHMA FIKRI NURADI  
1820442005**

**PROGRAM PASCASARJANA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2022**

TESIS

PEMBUATAN SUPERKAPASITOR DARI KARBON AKTIF  
KULIT BUAH KAKAO SEBAGAI PENYIMPAN ENERGI

disusun oleh:

Rahma Fikri Nuradi  
1820442005

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji pada tanggal  
01 Juli 2021

Tim Penguji

Pembimbing Utama



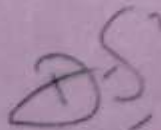
Dr. rer. nat. Muldarisnur, S.Pd, M.si  
NIP. 198103292008011014

Pembimbing Pendamping



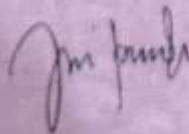
Prof. Dr. Yuli Yetri, M.Si  
NIP. 196307061990032002

Penguji I



Prof. Dr. Dahyunir Dahlan  
NIP. 196811281995121002

Penguji II



Dr. Dwi Puryanti  
NIP. 196904191997022001

Penguji III



Dr. Zulfi  
NIP. 196803031997031002

## ABSTRAK

Studi tentang produksi karbon aktif berbasis kulit buah kakao sebagai elektroda superkapasitor telah berhasil dilakukan. Langkah awal produksi karbon aktif dimulai dengan mengeringkan bahan baku di bawah sinar matahari dan dilanjutkan dengan pengeringan oven, pra-karbonisasi, penggilingan, pengayakan, aktivasi kimia dengan larutan KOH konsentrasi 0,3 M dan 0,4 M, pencetakan pelet, karbonisasi pada 600°C diikuti dengan aktivasi fisika pada suhu 600°C, 700°C 800°C dan 900°C dengan variasi waktu 4 jam dan pemolesan pelet adalah beberapa langkah yang diikuti, suhu terbaik pada 700°C dan 0,4 M. Densitas untuk elektroda 0,801 g/cm<sup>3</sup>. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa pori-pori yang terbentuk antara 0,44 µm sampai 0,98 µm dan kandungan unsur karbon pada sampel elektroda adalah 91,49 % yang ditunjukkan oleh data EDX. Data XRD menunjukkan struktur elektroda karbon adalah amorf dengan sudut difraksi (2θ) 23,569° dan 44,781°. Hasil uji BET menunjukkan bahwa sampel 0,4 M suhu 700°C memiliki luas permukaan 7.461 m<sup>2</sup>/g. Pengukuran sifat elektrokimia yang dilakukan dengan metode voltametri siklik menghasilkan kapasitansi spesifik optimum sebesar 140,2 F/g didapatkan pada waktu aktivasi 2,5 jam.

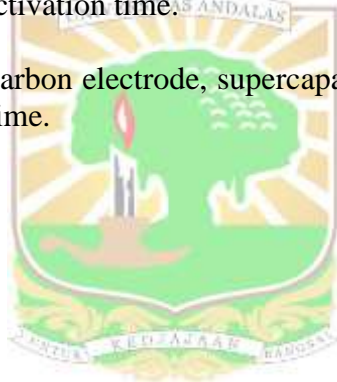
**Kata kunci:** Kulit buah kakao, elektroda karbon, superkapasitor, suhu, variasi waktu aktivasi.



## ABSTRACT

The study on the production of cocoa pods based activated carbon as a supercapacitor electrode has been successfully performed. The early step of activated carbon production was started by drying the raw materials under sunlight and followed by oven drying, pre-carbonization, milling, sieving, chemical activation with KOH solution of concentration of 0.3 M and 0,4 M, pellet printing, carbonization at temperature of 600°C followed by physical activation at a temperature of 600°C, 700°C, 800°C and 900°C with a time variation of 4 hours and pellet polishing were several step that was followed, best temperature in 700°C and 0.4 M. The density for carbon electrode 0.810 g/cm<sup>3</sup>. The BET result as high as 664.68 m<sup>2</sup>/g. The SEM micrograph shown the pores formed between 0.44 μm to 0.98 μm and carbon element content in the electrode sample is 91.49 % indicated by the EDX data. The XRD data shows the structure of the carbon electrode is amorphous with a diffraction angle (2θ) 23.569° and 44.781°. The BET test results show that a sample of 0,4 M at 700°C has a surface area 7.461 m<sup>2</sup>/g. The measurement of electrochemical properties carried out by cyclic voltammetry method yielded the optimum specific capacitance of 140.2 F/g was found at 2.5 hours of activation time.

**Keywords:** Cocoa pods, carbon electrode, supercapacitor, temperature, variation of activation time.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Shalawat serta salam semoga tercurah kepada nabi Muhammad SAW yang telah membawa umatnya dari zaman kebodohan ke zaman yang penuh ilmu pengetahuan seperti saat ini.

Selesainya penulisan tesis ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.rer.nat. Muldarisnur, S.Pd, M.Si dan ibu Prof. Dr. Yuli Yetri, M.Si selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan, semangat dan masukan dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis ini.
2. Ketua Jurusan Fisika dan seluruh staf pengajar yang telah berbagi ilmu, pemahaman dan pengalamannya, serta seluruh pegawai akademis di lingkungan Jurusan Fisika atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.
3. Kakak dan Adik-adik di Laboratorium Fisika Material dan Teknologi nano Jurusan Fisika Unand: kakak Vamellia, Yaya, Paula, Aulia, Rahma dan Khaisar yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.
4. Kedua orang tua dan saudara tercinta yang telah memberikan dorongan yang sangat besar kepada penulis.
5. Teman-teman Pascasarjana Fisika khususnya angkatan 2018 atas segala bantuannya.
6. Teman-teman sepermainan yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis.
7. Dan semua pihak yang membantu penulis untuk menyelesaikan studi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar tesis ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan tesis ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun bagi pembaca.

Padang, 2 Mei 2021

Rahma Fikri Nuradi



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Tujuan Penelitian.....	3
I.3 Manfaat Penelitian.....	3
I.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
II.1 Kulit Buah Kakao.....	5
II.2. Kapasitor .....	6
II.3 Superkapasitor.....	7
II.3.1 Elektroda Karbon .....	11
II.3.2 Elektrolit.....	12
II.3.3 Separator.....	13
II.3.4 Pengumpul Arus ( <i>Current Collector</i> ) .....	13
II.3.5 Karbon Aktif .....	13
II.3.6 Proses Pembuatan Karbon Aktif .....	15
II.4 Pengukuran Kapasitansi Superkapasitor .....	17
II.4.1 Siklik Voltammogram (CV).....	17
II.4.2 ThermoGravimetry Analyzer (TGA) .....	18



II.4.4 X-Ray Diffraction (XRD) .....	19
II.4.4 Mikroskop Pemindaian Elektron (SEM).....	22
II.4.5 Energi Dispersif Sinar-X (EDX) .....	23
II.4.6 BET <i>specific surface area measurement</i> .....	24
II.5 Pengukuran Sifat Listrik Dari Rangkaian Superkapasitor .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	27
III.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	27
III.3 Prosedur Kerja.....	28
III.3.1 Pembuatan Karbon Aktif .....	28
III.3.2 Karakterisasi Sifat Fisis Elektroda Karbon Kulit Buah Kakao .....	33
III.3.3 Pengukuran Sifat Elektrokimia Sel Superkapasitor .....	36
III.3.4 Diagram Penelitian.....	36
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
IV.1 Sifat Fisis Elektroda Karbon.....	38
IV.1.1 Analisa Massa, Diameter, Tebal dan Densitas .....	38
IV.1.2 Sifat Kestabilan Termal Biomassa Kulit Buah Kakao.....	49
IV.2 Analisa <i>Cyclic Voltammetry</i> (CV) .....	51
IV.3 Analisa Difraksi Sinar-X (XRD) .....	54
IV.4 Morfologi Karbon Aktif (SEM).....	56
IV.5 Analisa Komposisi Kimia Karbon Aktif.....	59
IV.6 Analisa <i>Surface Area</i> (BET) .....	63
<b>BAB V Kersimpulan dan Saran .....</b>	<b>65</b>
<b>V.1 Kesimpulan .....</b>	<b>65</b>
<b>V.2 Saran .....</b>	<b>66</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN. ....</b>	<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar II.1</b>	Gambar buah dan biji kakao 5
<b>Gambar II.2</b>	Gambar sensor kapasitif 6
<b>Gambar II.3</b>	Perbandingan antara Baterai Li-thium dengan Superkapasitor 7
<b>Gambar II.4</b>	Struktur kapasitor 8
<b>Gambar II.5</b>	Mekanisme penyimpanan muatan pada superkapasitor 10
<b>Gambar II.6</b>	Siklik voltammogram 17
<b>Gambar II.7</b>	Plot kurva TG 18
<b>Gambar II.8</b>	Difraksi sinar-X pada kisi kristal 20
<b>Gambar II.9</b>	Diagram mikroskop pemindaian elektron 22
<b>Gambar II.10</b>	Prinsip kerja energi dispersif sinar-X 24
<b>Gambar II.11</b>	Diagram mikroskop pemindaian elektron 25
<b>Gambar II.12</b>	Pengukuran sifat listrik superkapasitor 26
<b>Gambar III.1</b>	Alat pada proses karbonisasi dan aktivasi fisika 32
<b>Gambar III.2</b>	Komponen penyusunan sel superkapasitor 33
<b>Gambar III.3</b>	Proses memasukkan bahan kedalam alat TGA 34
<b>Gambar III.4</b>	Diagram alir penelitian 37
<b>Gambar IV.1</b>	Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk sampel dengan suhu aktivasi 600 °C 39
<b>Gambar IV.2</b>	Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk semua sampel dengan suhu aktivasi 600 °C 41
<b>Gambar IV.3</b>	Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk semua sampel dengan aktivator KOH 0,4M 700 °C dan 800 °C 43
<b>Gambar IV.4</b>	Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk semua sampel dengan suhu aktivasi 900°C 45
<b>Gambar IV.5</b>	Persentase susut massa untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C 47
<b>Gambar IV.6</b>	Persentase susut diameter untuk suhu aktivasi 600 °C,

	700 °C, 800 °C, dan 900 °C	47
<b>Gambar IV.7</b>	Persentase susut tebal untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C	48
<b>Gambar IV.8</b>	Persentase susut densitas untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C	49
<b>Gambar IV.9</b>	Kurva DTG dan TG kulit buah kakao	50
<b>Gambar IV.10</b>	Kurva hubungan antara kapasitansi spesifik terhadap tegangan pada laju pemindaian 1 mV	52
<b>Gambar IV.11</b>	Diagram perbandingan nilai kapasitansi spesifik berdasarkan variasi aktivator KOH pada suhu aktivasi 700 °C dan 800 °C	53
<b>Gambar IV.12</b>	Pola Difraksi Sinar-X	54
<b>Gambar IV.13.a</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,3 M suhu 600 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.b</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M 600 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.c</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,3 M 700 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.d</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M suhu 700 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.e</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M 800 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.f</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,3 M 900 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.13.g</b>	Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M 900 °C Perbesaran 5000 kali	57
<b>Gambar IV.14.a</b>	Hasil energi dispersif sinar-X sampel 0,3 M suhu 700°C	62
<b>Gambar IV.14.b</b>	Hasil energi dispersif sinar-X sampel 0,4 M suhu 700°C	62
<b>Gambar IV.14.c</b>	Hasil energi dispersif sinar-X sampel 0,4 M suhu 800°C	62
<b>Gambar IV.15</b>	Hasil BET data isotherm sampel 0,4 M suhu 700°C	63
<b>Gambar IV.16</b>	Hasil BET data Multiple sampel 0,4 M suhu 700°C	64

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel II.1</b> Karakteristik superkapasitor.....	9
<b>Tabel II.2</b> Sifat-sifat karbon aktif.....	14
<b>Tabel III.1</b> Alat dan bahan yang digunakan serta fungsinya .....	28
<b>Tabel IV.1</b> Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 600°C .....	40
<b>Tabel IV.2</b> Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 700°C .....	42
<b>Tabel IV.3</b> Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 700°C dan 800°C .....	44
<b>Tabel IV.4</b> Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 900°C .....	46
<b>Tabel IV.5</b> Nilai kapasitansi spesifik berdasarkan variasi KOH dan suhu.....	53
<b>Tabel IV.6</b> Hasil fitting data difraksi sinar-X elektroda kulit buah kakao .....	55
<b>Tabel IV.7</b> Jarak dan ukuran partikel sampel hasil SEM.....	59
<b>Tabel IV.8</b> Kandungan senyawa pada sampel elektroda karbon suhu 700 °C dan 800 °C. ....	60
<b>Tabel IV.9</b> Kandungan senyawa pada sampel elektroda karbon suhu 600 °C dan 900 °C. ....	61
<b>Tabel IV.10</b> Luas <i>Specific Area</i> sampel 0,4 M suhu 700 °C.....	64

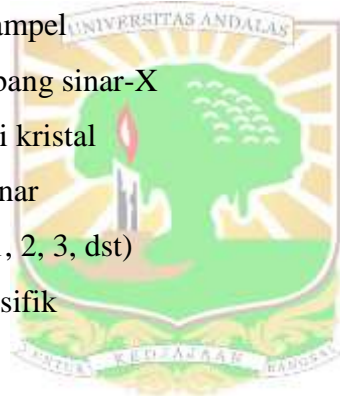
## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
<b>Lampiran 1</b> Bahan dan Alat Penelitian	73
<b>Lampiran 2</b> Data susut massa Pra-karbonisasi	76
<b>Lampiran 3</b> Data Pengukuran Massa, Tebal, Diameter Dan Perhitungan Densitas	78
<b>Lampiran 4</b> Analisa Data TGA	83
<b>Lampiran 5</b> Data Pengukuran <i>Cyclic Voltammetry</i> Dan Perhitungan Kapasitansi Spesifik	84
<b>Lampiran 6</b> Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)	86
<b>Lampiran 7</b> Spektrum Dan Data Uji Edx	93
<b>Lampiran 8</b> Data Uji XRD	97
<b>Lampiran 9</b> Perhitungan data parameter difraksi sinar-X	113
<b>Lampiran 10</b> Analisa surface area BET	114



## DAFTAR SIMBOL

<b>Simbol</b>	<b>Satuan</b>
$C$ = Nilai kapasitansi	(F)
$\epsilon$ = Permittivitas dielektrik	(F/m)
$A$ = Luas penampang elektroda	(m <sup>2</sup> )
$\delta$ = Jarak antara dua elektroda	(m)
$\rho$ = Densitas pellet karbon	(kg/m <sup>3</sup> )
$m$ = Massa total karbon	(kg)
$m_1$ = Massa sebelum pra-karbonisasi	(kg)
$m_2$ = Massa setelah pra-karbonisasi	(kg)
$V$ = Volume total sampel	(m <sup>3</sup> )
$\lambda$ = Panjang gelombang sinar-X	(nm)
$d$ = Jarak antara kisi kristal	(m)
$\theta$ = Sudut datang sinar	(°C)
$n$ = Orde difraksi (1, 2, 3, dst)	
$C_{sp}$ = Kapasitansi spesifik	(F/g)
$I$ = Arus	(A)
$I_c$ = Arus <i>Charge</i>	(A)
$I_d$ = Arus <i>discharge</i>	(A)
$s$ = Laju Scan	(mV/s)



# BAB I. PENDAHULUAN

## I.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dan digunakan di berbagai bidang kehidupan. Semua piranti elektronik yang ada saat ini, seperti telepon seluler dan laptop membutuhkan suplai energi listrik. Mobilitas pengguna berdampak pada diperlukannya peralatan portabel yang dapat digunakan dimana saja. Akibatnya, media penyimpanan energi listrik sangat diperlukan. Media penyimpan energi yang dipakai pada alat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Kedua media penyimpanan ini memiliki rapat daya yang kecil serta membutuhkan waktu pengecasan cukup lama. Kapasitas daya yang kecil berdampak pada pendeknya masa pakai sebelum diisi ulang.

Salah satu media penyimpan energi yang sedang dikembangkan saat ini adalah kapasitor dan superkapasitor<sup>[1]</sup>. Superkapasitor atau dikenal juga sebagai kapasitor elektrokimia (EDLC, *Electro-chemical double-layer Capacitors*) adalah lapisan rangkap listrik berupa elektroda yang dipisahkan oleh separator<sup>[2]</sup>. Superkapasitor adalah perangkat elektrokimia yang memiliki kemampuan untuk menyimpan dan melepaskan muatan dengan kerapatan daya tinggi secara cepat. Superkapasitor mempunyai kapasitas penyimpanan muatan ribuan kali lipat dan energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Waktu yang dibutuhkan untuk mengecaskan ulang superkapasitor dengan kapasitas ratusan Farad hanya 30 detik. Superkapasitor terdiri dari karbon dengan permukaan area yang sangat aktif atau disebut juga karbon aktif dan selimut lapisan elektrolit yang tipis yang berfungsi sebagai dielektrik dan pemisah muatan. Salah satu komponen superkapasitor adalah elektroda yang terdiri dari anoda dan katoda. Pemilihan bahan elektroda sangat menentukan kinerja superkapasitor.

Untuk mencapai kapasitansi beberapa kali lipat lebih besar dari pada kapasitor konvensional, elektroda superkapasitor biasanya dibuat dari karbon aerogel<sup>[3]</sup>, nanokomposit<sup>[4]</sup>, logam oksida<sup>[5]</sup>, dan polimer konduktif<sup>[6]</sup>. Bahan yang disebutkan sebelumnya cukup langka dan mahal sehingga menghambat superkapasitor. Superkapasitor yang banyak dikembangkan saat ini berasal dari

bahan organik. Keunggulan superkapasitor bahan organik ini adalah mudah didapat, terjamin kontinuitasnya, dan bersifat ramah lingkungan. Keterjaminan dan ramah lingkungan tersebut menjadi faktor utama peneliti menjadikan bahan organik sebagai sumber energi masa depan dalam mewujudkan teknologi hijau (*green chemistry*)<sup>[7,8]</sup>.

Saat ini bahan elektroda yang banyak dikembangkan adalah karbon dan kompositnya. Karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektrokimia salah satunya adalah sebagai bahan elektroda. Karbon aktif banyak digunakan karena murah, bahan dasarnya mudah didapat, mudah disintesis, bisa dibuat dalam bentuk (bubuk, fiber/serat, dan komposit), luas permukaannya besar dan porositasnya dapat diatur. Elektroda karbon mudah terpolarisasi, stabil dalam larutan yang berbeda (asam, basa dan aprotik) dan stabil dalam rentang temperatur tertentu<sup>[9]</sup>.

Bahan organik yang memiliki kandungan karbon tinggi merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kemampuan menyimpan muatan listrik superkapasitor. Penelitian sebelumnya telah dibuat superkapasitor dari berbagai macam bahan organik seperti bunga rumput gajah<sup>[10]</sup>, serbuk gergaji kayu karet<sup>[11]</sup>, kayu karet<sup>[12]</sup>, kulit durian<sup>[13]</sup>, limbah batang pisang<sup>[14]</sup> dan ampas sagu<sup>[15]</sup>. Masing-masing bahan tersebut memiliki nilai kapasitansi spesifik berbeda-beda, nilai kapasitansi spesifik ( $C_{sp}$ ) dari ampas sagu yang paling tinggi dengan 132,09 F/g, kayu karet dengan 115 F/g, limbah batang pisang dengan 104 F/g, serbuk gergaji kayu karet dengan 50,65 F/g, kulit durian dengan 66 F/g, dan bunga rumput gajah dengan 43 F/g. Ampas sagu lumayan sulit diperoleh dan hanya terdapat pada daerah tertentu saja, sehingga digunakan alternatif limbah pertanian lain yang banyak di Indonesia.

Salah satu limbah pertanian yang dapat dijadikan superkapasitor adalah kulit buah kakao. Kulit buah kakao memiliki kandungan hemiselulosa 21,06%, selulosa 20,15% dan lignin 51,98%<sup>[16]</sup>. Nilai kapasitansi dari kulit buah kakao dengan aktivasi kimia KOH pada 0,4 M 700 °C adalah 140,2 F/g lebih besar dari pada 0,3 M pada 700 °C yaitu 90,2 F/g. Sedangkan kapasitansi spesifik yang dihasilkan untuk aktivasi fisika pada sampel elektroda karbon 0,4 M suhu 700 °C



dan 0,4 M suhu 800 °C turun dari 140,2 F/g ke 36.8 F/g, sehingga kulit buah kakao dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan superkapasitor<sup>[17]</sup>. Hal-hal diatas mendorong peneliti mengembangkan, dan menyempurnakan elektroda dari kulit buah kakao untuk pembuatan superkapasitor yang nantinya dapat membantu pengolahan limbah kulit buah kakao di Indonesia yang selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal, dan bernilai ekonomis serta mengurangi jumlah elektroda karbon yang diimport oleh industri di Indonesia.

## **I.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah pembuatan superkapasitor dari karbon aktif kulit buah kakao, dan melihat pengaruh suhu dari 600 °C, 700 °C, 800 °C dan 900 °C serta molaritas terhadap kapasitansi superkasitor yang dihasilkan.

## **I.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian yang dilakukan memberikan manfaat kepada bidang keilmuan, pemerintah, serta masyarakat luas. Bagi ilmuan, penelitian ini memberikan kajian awal, serta memperluas kemungkinan biomassa yang digunakan dalam pembuatan supersitor dari karbon aktif kulit buah kakao. Bagi pemerintah, penelitian ini diharapkan sebagai awal dari teknologi alternatif penyimpanan energi yang menggunakan bahan baku terbaharukan dengan performansi yang baik. Bagi dunia industri, penelitian dapat memberikan peluang usaha baru, serta solusi alternatif pengolahan limbah kulit buah kakao yang memberikan nilai tambah pada limbah padat. Bagi masyarakat luas, penelitian ini diharapkan dapat memunculkan teknologi penyimpanan energi yang baik, tahan lama, dan dapat diaplikasikan pada berbagai peralatan sehari - hari.

## **I.4 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah**

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Membuat elektroda superkapasitor dari bahan karbon aktif kulit buah kakao.
2. Kulit buah kakao dipra-karbonisasi dengan suhu 250 °C selama 2,5 jam.

3. Aktivasi kimia dengan menggunakan aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 M.
4. Variasi suhu aktivasi fisika adalah 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C.



## BAB II. LANDASAN TEORI

### II.1 Kulit Buah Kakao

Tanaman kakao atau coklat (*Theobroma cacao* L) termasuk dalam divisio *spermathopyta*, kelas *dycotyledon*, ordo *marvales*, family *sterculiacea*, genus *theobroma* dan spesies *Theobroma cacao* L<sup>[18,19]</sup>. Tanaman ini pertama kali masuk ke Indonesia pada tahun 1560 dibawa oleh orang-orang Spanyol<sup>[19]</sup>. Luas area perkebunan kakao pada tahun 2016 adalah 1.191.742 ha dan produksi tanaman kakao berkisar 760.429 ton<sup>[19]</sup>. Buah kakao terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kulit buah, plasenta, dan biji (Gambar II.1). Kulit buah kakao segar terdiri dari kulit buah 73 %, biji 24,2 % dan plasenta 2 %<sup>[20,19,21]</sup>, sehingga kulit buah kakao merupakan limbah terbanyak dari tanaman kakao, yaitu sekitar 75% dari buah kakao segar<sup>[22]</sup>. Struktur dari kulit buah kakao dapat dilihat pada Gambar II.1.



**Gambar II.1** Gambar buah dan biji kakao<sup>[18]</sup>.

Produksi satu ton biji kakao kering setara dengan 10 ton kulit buah kakao segar. Untuk menangani produksi yang tinggi diperlukan penanganan limbah secara efektif sehingga tidak mengganggu proses produksi dan lingkungan sekitar pabrik pengolahan. Berbagai alternatif telah dilakukan untuk menangani pembuangan akhir dari limbah buah kakao. Salah satunya adalah menciptakan produk-produk yang berharga, misalnya antioksidan pada produk kosmetik<sup>[23]</sup>, zat aditif<sup>[21]</sup>, sebagai makanan ternak<sup>[24]</sup>, adsorben zat warna *Rhodamin B*<sup>[25]</sup>, absorben logam berat<sup>[26,27]</sup>, inhibitor korosi<sup>[16]</sup>, inhibitor untuk pemulihan sifat mekanik baja ringan setelah korosi<sup>[18]</sup>, karbon aktif<sup>[28]</sup>, absorben amoksisilin<sup>[29]</sup>, produksi kertas<sup>[30]</sup>, dan banyak lagi lainnya.

## II.2 Kapasitor

Kapasitor pertama kali ditemukan oleh Micheal Faraday pada tahun 1791. Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan energi/muatan listrik di dalam medan listrik. Kemampuan menyimpan energi atau muatan dari kapasitor disebut kapasitansi yang dilambangkan dengan huruf C dan satuannya adalah Farad (F). Sebuah kapasitor pada dasarnya terdiri dari dua konduktor dengan muatan yang sama besar tetapi berlainan jenis (positif dan negatif) yang diletakkan pada jarak tertentu dan dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik (isolator).

Besarnya nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan II.1

$$C = \kappa \cdot \epsilon_0 \frac{A}{d} = \epsilon \frac{A}{d} \quad (\text{II.1})$$

Dimana : C = Kapasitansi Kapasitor (F)

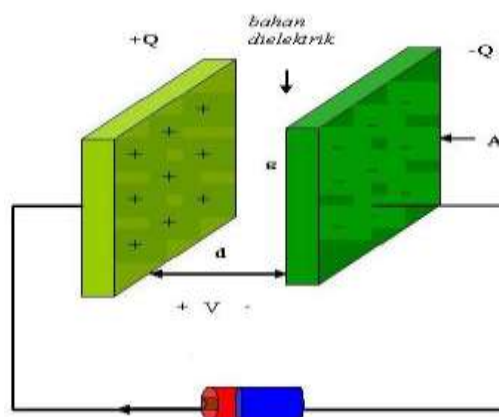
$\epsilon_0$  = Permittivitas ruang hampa =  $8,89 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$

A = Luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

d = Jarak antar keping kapasitor (m)

$\kappa$  = Konstanta dielektrik

$\epsilon$  = Permittivitas bahan (C/vm)



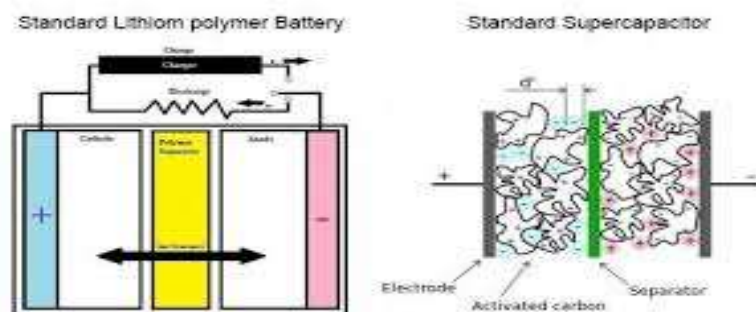
Gambar II.2 Gambar Sensor Kapasitif<sup>[2]</sup>.

Dari Gambar II.2 dapat dilihat jika kedua konduktor diberikan tegangan listrik, maka muatan listrik pada kedua konduktor sama besar tapi berlawanan

jenis. Muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) logam dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung logam yang lain. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Medan listrik akan timbul pada celah antara kedua keping konduktor. Besarnya medan listrik bergantung dari besarnya muatan yang terkandung didalamnya. Semakin besar muatan di dalam konduktor maka semakin besar pula medan listrik yang timbul diantara dua konduktor tersebut, begitu juga dengan beda potensial listriknya.

### II.3. Superkapasitor

Superkapasitor adalah kapasitor elektrokimia yang memiliki rapat energi yang tinggi yaitu antara  $10^6$  sampai  $10^9$  kali lipat dibandingkan kapasitor biasa<sup>[8]</sup>. Superkapasitor biasa juga disebut kapasitor lapisan ganda atau *Electro-chemical Double Layer Capacitor (EDLC)*. *EDLC* adalah kapasitor elektrokimia yang energi penyimpanan dominannya dicapai dengan dua lapisan kapasitansi, dimana proses penyimpanan energi oleh muatan berbeda yang ada pada batas antara elektroda dan elektrolit. Superkapasitor memiliki kelebihan jumlah siklus *charging* yang relatif banyak (>100000 siklus), pengaruh struktur pori terhadap kerapatan energi yang tinggi, kemampuan menyimpan energi yang besar, prinsip yang sederhana dan konstruksi yang mudah. Dari sisi keramahan terhadap pengguna, superkapasitor sangat aman karena tidak ada bahan korosif dan toksik<sup>[31]</sup>.

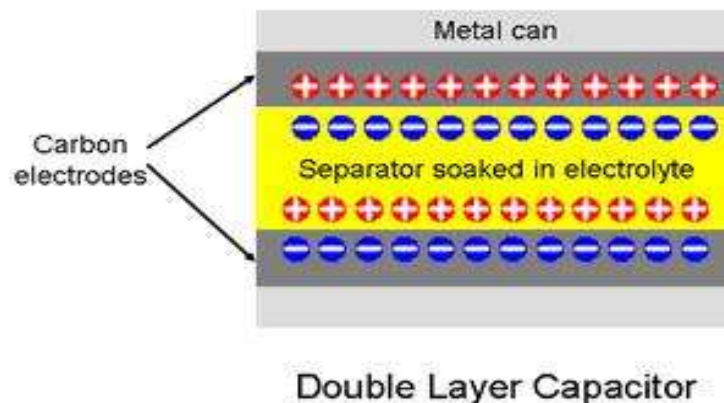


**Gambar II.3** Perbandingan antara Baterai Li-thium dengan Superkapasitor<sup>[44]</sup>.

Gambar II.3 memperlihatkan perbedaan baterai biasa dengan superkapasitor. Baterai pada umumnya terdiri dari sel elektrokimia. Sel tersebut tersusun dari dua elektroda yang dipisahkan dengan jarak tertentu yang diisi dengan elektrolit. Pada baterai ketika pengisian daya berjalan elektroda akan mengalirkan elektron dan yang lainnya akan menerimanya. Superkapasitor memiliki dua material yang bersifat konduktif (biasanya berupa plat) yang dilapisi dengan karbon aktif dan terbenam di dalam elektrolit. Plat tersebut mempunyai ion positif dan negatif. Ketika proses pengisian daya berjalan, ion tersebut akan terakumulasi pada permukaan plat. Penyimpanan energi pada superkapasitor terletak pada dua lapisan yang dilapisi karbon aktif tanpa adanya reaksi kimia. Hal tersebutlah yang mengakibatkan superkapasitor mampu menyimpan energi yang lebih banyak<sup>[44]</sup>.

Superkapasitor memiliki konstruksi *double layer* yang terdiri dari 2 elektroda, elektrolit, pemisah (*separator*) dan pengumpul arus (*current collector*). Elektroda terdiri dari bahan semikonduktor seperti karbon. Elektrolit dapat berupa cairan atau non-cairan tergantung pembuatan superkapasitornya, sedangkan, *separator* dibuat dari membran yang berfungsi untuk melewatkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negatif<sup>[32]</sup>.

Superkapasitor memiliki fisik yang hampir sama dengan baterai. Namun, superkapasitor memiliki konstruksi double layer yang terdiri dari dua elektroda karbon yang terbenam dalam elektrolit organik. Struktur dari superkapasitor dapat dilihat pada Gambar II.4.



**Gambar II.4** Struktur Superkapasitor.

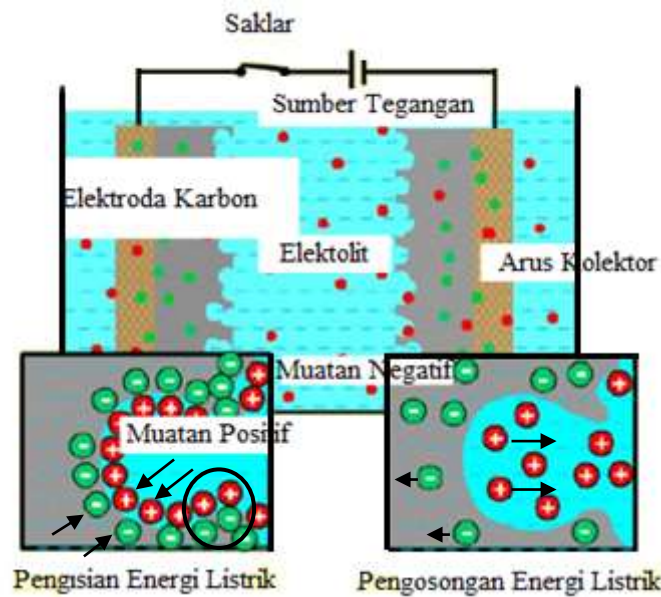
Gambar II.4 memperlihatkan EDLC yang terdiri dari dua elektroda dengan luas permukaan yang tinggi. Pada EDLC setiap elektroda bertindak sebagai kapasitor sehingga dapat dianggap bahwa EDLC memiliki dua kapasitor yang terhubung secara seri.

Selama proses pengisian berlangsung, ion muatan listrik dalam elektrolit berpindah ke arah polaritas pada elektroda yang berlawanan. Meskipun mirip dengan baterai, lapisan ganda kapasitor tergantung pada elektrostatik. Superkapasitor tidak bergantung pada pengaruh kimia sehingga bersifat *reversible* dan memiliki hingga ratusan ribu siklus pengisian<sup>[44]</sup>. Berikut ini adalah Tabel II.1 yang menunjukkan karakteristik dari superkapasitor. Dari Tabel II.1 menunjukkan bahwa karakteristik dari superkapasitor memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan baterai biasa. Namun hal yang paling menonjol adalah waktu pengisiannya yang sangat cepat jika dibandingkan dengan baterai.

Tabel II.1 Karakteristik Superkapasitor

Keterangan	Superkapasitor	Lithium-ion
Waktu pengisian	1 – 10 detik	10 – 60 menit
Siklus pengisian	1 juta – 300.000	500
Voltasi sel	2,3 – 2,75 V	3,6 – 3,7 V
Energi spesifik (Wh/kg)	5	100– 200
Daya Spesifik (W/kg)	Min 10.000	1.000– 3.000
Suhu pengisian	-40 - 65°C	0 - 45°C
Suhu pengosongan	-40 - 65°C	-20 - 60°C

Prinsip kerja superkapasitor berdasarkan pada ion muatan listrik. Ion-ion tersebut berasal dari elektrolit yang terionisasi yang berada diantara dua elektroda. Ion-ion pada elektroda terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion). Mekanisme penyerapan dan pelepasan 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*). Ion akan bergerak menjauhi elektroda saat superkapasitor digunakan sehingga terjadi proses pengosongan (*discharging*)<sup>[33]</sup>.



**Gambar II.5** Mekanisme penyimpanan muatan pada superkapasitor<sup>[34]</sup>.

Elektroda pada superkapasitor menggunakan material karbon, sedangkan kapasitor biasa menggunakan logam. Efek kapasitansi superkapasitor muncul akibat dua lapis substrat karbon yang terpisah pada jarak sangat kecil pada skala nanometer. Mekanisme pada EDLC berupa *Electro-chemical Double Layer* yang terbentuk pada permukaan elektroda atau elektrolit dimana muatan-muatan listrik terkumpul pada permukaan elektroda. Ion-ion muatan yang berlawanan tersusun pada tepi-tepi elektrolit, seperti yang ditunjukkan Gambar II.5.

Saat terjadi proses pengisian, elektron akan mengalir dan berkumpul pada antarmuka (*interface*) permukaan elektroda dan elektrolit. Ion dalam elektrolit tersebut akan berpindah dalam bentuk lapisan ganda yang ditransfer melalui proses difusi elektrolit antara elektroda-elektroda. Ion negatif bergerak menuju elektroda yang bermuatan positif dan ion positif bergerak menuju elektroda negatif ketika diberi beda potensial, sehingga pada permukaan elektroda ion-ion tersusun pada tepi-tepi elektrolit dan saling berlawanan. Besarnya kapasitansi dari superkapasitor sangat bergantung pada luas permukaan dan besarnya pori yang dilalui oleh ion dalam elektrolit<sup>[35]</sup>. Kapasitansi pada superkapasitor dapat dihitung menggunakan Persamaan II.2<sup>[36]</sup>.



$$\frac{C}{A} = \frac{\varepsilon A}{d} \quad (\text{II.2})$$

dimana : C = kapasitansi (F)

A = luas permukaan area ( cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = konstanta dielektrik medium antara dua logam (isolator)

d = jarak antara dua permukaan layar (cm)

Besarnya energi yang dihasilkan superkapasitor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan II.3

$$E = \frac{C V^2}{2} = \frac{QV}{2} \quad (\text{II.3})$$

dimana : E = Energi yang dihasilkan superkapasitor (Joule)

C = kapasitansi (F)

V = Beda potensial listrik (Volt)

Q = Muatan listrik (Coulomb)

Daya yang dihasilkan oleh superkapasitor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan II.4

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{II.4})$$

dimana : P = Daya (Watt)

V = Tegangan/beda potensial Listrik (Volt)

R = Tahanan (ohm)

Selama proses pengisian berlangsung, ion muatan listrik dalam elektrolit berpindah ke arah polaritas pada elektroda yang berlawanan. Meskipun mirip dengan baterai, lapisan ganda kapasitor tergantung pada tindakan elektrostatik. Superkapasitor tidak bergantung pada pengaruh kimia sehingga bersifat *reversible* dan memiliki hingga ratusan ribu siklus pengisian<sup>[37]</sup>.

### II.3.1 Elektroda Karbon

Elektroda memegang peranan penting terhadap pengaruh nilai kapasitansi sel superkapasitor. Material yang digunakan untuk pembuatan elektroda

superkapasitor antara lain karbon *aerogel*, *nanof foam*, *nanotube*, karbon berpori, logam oksida, dan polimer konduktif<sup>[12]</sup>. Bahan elektroda seperti logam oksida, yang menghasilkan kapasitansi spesifik dan konduktivitas yang tinggi adalah Ru (*ruthenium*) dan Ir (*iridium*), namun kelangkaan dan mahalnya logam ini menjadi pemicu untuk jarang digunakan sebagai bahan elektroda dasar. Material elektroda dari superkapasitor komersial yang banyak digunakan adalah karbon berpori yang dibuat dari bahan alam dan lain sebagainya<sup>[38]</sup>.

Elektroda karbon merupakan elektroda dengan struktur berupa karbon aktif dengan porositas dan permukaan yang luas. Ciri umum elektroda karbon yang baik diantaranya, luas permukaan yang tinggi (500 m<sup>2</sup>/g hingga 2000 m<sup>2</sup>/g), dapat menghantarkan listrik, mampu menyimpan muatan yang banyak dan memiliki pori yang terstruktur. Karbon aktif sangat sering digunakan sebagai material elektroda superkapasitor karena karbon aktif mudah diproduksi dalam jumlah besar dan mempunyai luas permukaan yang tinggi<sup>[14]</sup>.

### II.3.2 Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu zat kimia yang dapat menghantarkan listrik ketika terurai menjadi ion-ion dalam pelarut polar. Bahan elektrolit cair dapat menembus celah-celah atau pori-pori dari bahan elektroda, baik anoda maupun katoda<sup>[39]</sup>.

Elektrolit yang baik digunakan pada sel superkapasitor adalah elektrolit yang mampu menghasilkan muatan yang tinggi serta mampu memasuki pori-pori yang terdapat dalam elektroda seperti Kalium Hidroksida (KOH) dan Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sup>[10]</sup>. Pemilihan KOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai elektrolit karena diameter ion yang dihasilkan lebih kecil sehingga mudah memasuki pori-pori elektroda. Elektrolit KOH memiliki ukuran diameter ion 0,36 nm dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> memiliki ukuran diameter ion 0,26 nm<sup>[10]</sup>.

Pada dasarnya prinsip kerja superkapasitor sama dengan prinsip kerja kapasitor, akan tetapi perbedaan terletak pada kapasitansi dari superkapasitor yang sangat besar dan mempunyai densitas energi sangat tinggi<sup>[33]</sup>.

### II.3.3 Separator

Separator merupakan komponen pemisah antara dua elektroda supaya tidak terjadinya kontak listrik antara elektroda kerja. Separator ini dibuat dari membran yang berfungsi untuk melewatkan ion-ion yang saling bertukar dari elektroda positif dan negatif<sup>[32]</sup>. Separator bertujuan agar tidak terjadi kontak antara dua elektroda. Separator dikatakan bagus apabila memiliki hambatan listrik yang tinggi, konduktansi ion yang tinggi, dan faktor yang mempengaruhi kinerja separator dalam sel superkapasitor adalah ukuran ketebalan. Semakin tebal sebuah separator akan mempengaruhi lama ion saat melintasi separator. Separator yang digunakan pada superkapasitor sebaiknya berbahan tipis dengan ketebalan 0-15 mm sampai dengan 0-6 mm sehingga memungkinkan ion elektrolit bergerak antara kedua elektroda<sup>[32]</sup>.

### II.3.4 Pengumpul Arus (*Current Collector*)

Pengumpul arus berfungsi menangkap ion-ion dari elektrolit. Bahan yang digunakan sebagai pengumpul arus harus mempunyai kemampuan yang baik untuk menghantarkan arus listrik (bahan konduktor). Ion-ion elektrolit yang dikumpulkan akan semakin optimal jika bahan yang digunakan semakin baik konduktifitasnya. Aluminium tipis (*foil*) yang dilekatkan dengan elektroda, aluminium *foil* juga berfungsi sebagai pengumpul arus (*current collector*). Bahan konduktor yang baik harus mempunyai konduktivitas tinggi, kekuatan mekanik (tarik) yang tinggi, koefisien muai panjang yang kecil dan modulus elastisitas yang cukup besar seperti perak, tembaga, nikel, aluminium dan *stainless steel*<sup>[15]</sup>.

### II.3.5 Karbon Aktif

Karbon adalah unsur non logam yang terletak pada golongan IV A periode 2 dalam sistem periodik unsur dengan nomor atom 6 dan massa atom sebesar 12.0107 g/mol. Sifat-sifat karbon aktif dapat ditinjau menggunakan dua parameter yaitu parameter fisis dan parameter kimia. Tabel II.2 adalah sifat-sifat yang dimiliki karbon aktif:

Tabel II.2 Sifat-Sifat Karbon Aktif<sup>[45]</sup>

No	Sifat Fisis	Sifat Kimia
1	Warna : Hitam	Tidak larut dalam air dan asam, namun larut dalam alkali, misalnya NAOH dan KOH
2	Bentuk Kristalin : Amorf	
3	Massa Molekul : 12,1 g/mol	
4	Massa Jenis : 1,8-2,1 g/cm <sup>3</sup>	
5	Titik Leleh : > 35000C	
6	Titik Didih : 42000C	

Adapun sifat yang diamati pada material karbon berpori antara lain:

### 1. Densitas

Densitas merupakan ukuran dari suatu massa persatuan volume, dimana massa dan volume berbanding lurus. Jika densitas semakin besar maka massa per satuan volume semakin besar. Menghitung nilai densitas dapat menggunakan persamaan :

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (II.5)$$

Keterangan:  $\rho$  = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

m = massa (kg)

v = volume, dengan nilai volume

$v = \pi r^2 t$ ,  $\pi = 3.14$

r = jari-jari (cm)

t = tinggi atau ketebalan (m)

### 2. Porositas

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori-pori dalam elektroda karbon. Elektroda karbon memiliki bentuk pori yang berbeda, yang terdiri dari tiga jenis yaitu pori yang berukuran di bawah 2 nm disebut dengan mikropori, pori berukuran 2-50 nm disebut dengan mesopori, dan pori yang berukuran di atas 50nm disebut struktur-struktur makropori<sup>[46]</sup>.

Karbon aktif merupakan karbon yang bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*), sehingga mempunyai daya serap yang baik. Karbon aktif mempunyai luas permukaan besar dan mengandung pori yang mempunyai ukuran dari mikropori sampai makropori. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas. Struktur berpori menyebabkan karbon aktif digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben zat warna, adsorben logam berat, adsorben gas, *support* katalis, elektroda superkapasitor dan lain-lain<sup>[8]</sup>.

Karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon, baik karbon organik maupun anorganik dengan syarat bahan tersebut mempunyai struktur berpori. Bahan-bahan biomassa dapat dijadikan bahan baku membuat karbon aktif, karena biomassa tersusun atas *lignosellulosa*, *selulosa* dan *hemisellulosa* yang merupakan karbon organik. Beberapa biomassa yang dimanfaatkan seperti kayu, batu bara muda, tulang, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, tandan kelapa sawit, limbah pertanian seperti kulit buah kopi, sabut buah coklat, sekam padi, jerami, tongkol dan pelepah jagung, kulit buah-buahan, biji buah-buahan, kulit biji-bijian dan lain-lain<sup>[30]</sup>.

Sintesis karbon aktif dari biomassa sendiri dapat dilakukan dengan aktivasi fisika menggunakan kukusan atau gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) pada temperatur tinggi, dan aktivasi kimia dengan menggunakan bahan kimia sebagai agen aktivasi untuk membentuk struktur pori-pori. Beberapa jenis agen aktivasi yang umum digunakan adalah, asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )<sup>[40]</sup>, ( $\text{KOH}$ )<sup>[41]</sup>, ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )<sup>[42]</sup> dan seng klorida ( $\text{ZnCl}_2$ )<sup>[26]</sup>.

### II.3.6 Proses Pembuatan Karbon Aktif

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

#### 1) Proses Dehidrasi

Proses dehidrasi bertujuan untuk menghilangkan air yang terkandung di dalam bahan baku. Caranya yaitu dengan menjemur di bawah sinar matahari atau pemanasan di dalam oven sampai diperoleh bobot konstan. Proses dehidrasi ini,

menghasilkan bahan baku yang kering, karena kandungan air dalam bahan baku semakin sedikit.

## 2) Proses Karbonisasi

Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dari bahan-bahan organik dengan jumlah oksigen sangat terbatas, biasanya dilakukan di dalam *furnace* (tungku pembakaran).

Proses karbonasi menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk methanol, uap asam asetat, tar-tar dan hidrokarbon. Material padat yang tinggal setelah karbonisasi adalah karbon dalam bentuk arang dengan pori-pori yang sempit<sup>[12]</sup>.

## 3) Proses Aktivasi

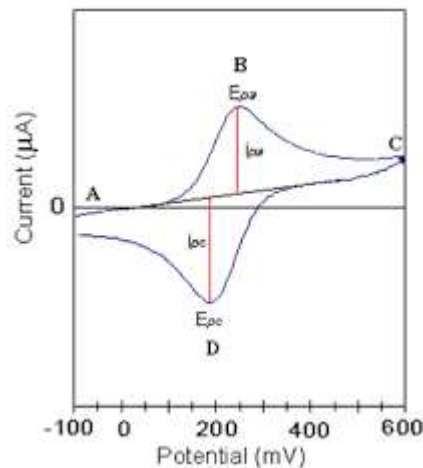
Aktivasi merupakan pemberian perlakuan secara fisika dan atau kimia terhadap karbon sehingga karbon mengalami pemecahan hidrokarbon dan oksidasi molekul-molekul permukaan yang menyebabkan penambahan luas permukaan. Aktivasi diperlukan untuk memperbaiki struktur pori yang masih lemah dari proses karbonisasi sebelumnya<sup>[43]</sup>. Karbon aktif yang telah melalui proses aktivasi memiliki daya serap lebih tinggi dari pada karbon aktif tanpa melalui aktivasi. Secara umum aktivasi dapat dilakukan secara fisika dan secara kimia.

Bahan-bahan kimia yang paling umum digunakan sebagai aktivator yaitu kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), mangan klorida ( $\text{MnCl}_2$ ), ( $\text{ZnCl}_2$ ), kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), KOH,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), dan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ )<sup>[18]</sup>. Pengaktifan dilakukan dengan cara merendam material karbon dalam senyawa kimia dengan tujuan agar terbentuk pori-pori baru yang lebih kuat dan baik. Aktivasi kimia menggunakan KOH akan membuat reaksi antara KOH dengan karbon sehingga membentuk pori-pori baru serta menghasilkan karbondioksida yang berdifusi ke permukaan karbon yang akan membuat kualitas karbon menjadi baik<sup>[18]</sup>.

## II.4 Pengukuran Kapasitansi Sel Superkapasitor

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

### II.4.1 Siklis Voltammogram (CV)



Gambar II.6 Siklis voltammogram

Dari Gambar II.7 dapat dilihat bahwa :

$E_{pa}$  = Potensial pada saat terbentuknya *peak anodic*

$E_{pc}$  = Potensial pada saat terbentuknya *peak catodic*

$I_{pa}$  = Arus pada saat terbentuknya *peak anodic*

$I_{pc}$  = Arus pada saat terbentuknya *peak catodic*

Pengukuran voltammogram siklis dilakukan dengan menggunakan alat pengukuran elektrokimia (*solartron interface 1286*) dengan sistem dua elektroda dalam larutan  $H_2SO_4$  1M. *Siklis Voltammogram* diukur dari potensial antara 0 sampai 1 V dengan laju *scanning* (memindai) 1 mV/s yang dikontrol dengan menggunakan *Corware*. Kapasitansi spesifik (F/g) yang akan dihasilkan dengan menggunakan metode *siklis voltammogram* dapat dihitung menggunakan persamaan (II.5)<sup>[8]</sup>.

$$C_{sp} = \frac{(I_c - (-I_a))}{s.m} \quad (II.6)$$

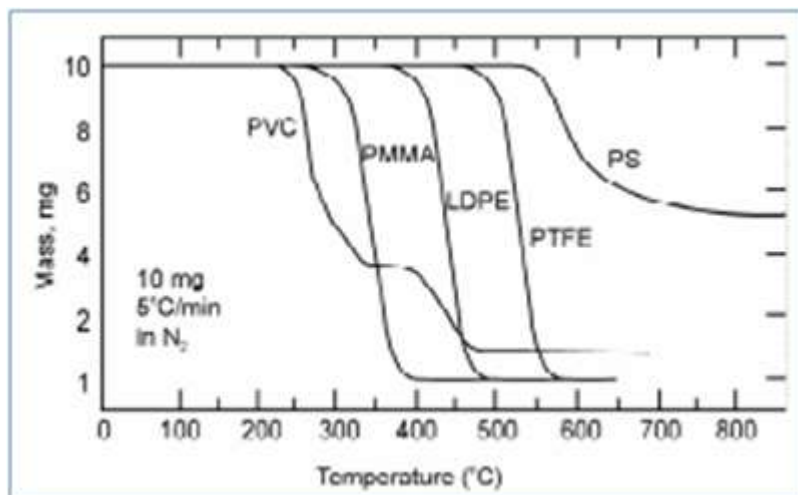
keterangan :

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

- $I_c$  = Arus masuk (mA)
- $I_d$  = Arus keluar (mA)
- $s$  = Laju imbasan (mV/s)
- $m$  = Massa elektroda karbon aktif (g)

#### II.4.2 Thermogravimetriy Analyzer (TGA)

*Thermogravimetry* merupakan suatu teknik untuk menganalisa perhitungan stabilitas termal suatu bahan bakar dan fraksi komponen zat volatilnya dengan memonitor perubahan massa selama spesimen diberi perlakuan panas<sup>[47]</sup>. Hasilnya biasanya berupa rekaman diagram yang kontinu. Metode TGA merupakan prosedur yang cukup banyak dilakukan dalam karakterisasi bahan. Pada prinsipnya metode ini mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dari suhu kamar sampai suhu tinggi yang biasanya sekitar 900 °C. Alat TGA dilengkapi dengan timbangan mikro didalamnya sehingga secara otomatis berat sampel setiap saat bisa terekam dan disajikan dalam tampilan grafik. Kurva TG dapat membantu menyatakan tingkat kemurnian sampel yang dianalisa dan menentukan transformasi dalam sampel dalam rentang temperatur spesifik.



**Gambar II.7** Plot Kurva TG<sup>[47]</sup>

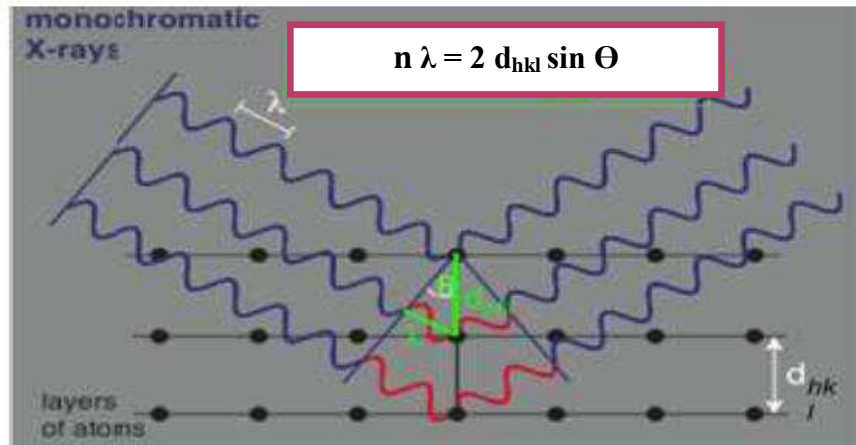
Gambar II.7 mengindikasikan bahwa polimer PVC memiliki kestabilan termal yang paling rendah dan PS memiliki kestabilan paling tinggi. Polimer PS tidak kehilangan berat dibawah suhu 500 °C dan dekomposisi terjadi pada suhu 600 °C. Tiga polimer yang lain sudah terdekomposisi sekitar suhu 450 °C. Polimer



PMMA dekomposisinya lebih lambat, hal ini diindikasikan dari kemiringan kurva TG. Kurva TG polimer PMMA memiliki kemiringan yang lebih rendah dari sebelumnya. Pada pemanasan yang kontinu dari suhu kamar, maka pada suhu-suhu tertentu material akan kehilangan cukup signifikan dari massanya. Kehilangan massa pada suhu tertentu dapat mengindikasikan kandungan dari bahan uji, meski tidak bisa secara spesifik merujuk pada suatu senyawa tertentu seperti yang misalnya ditunjukkan oleh puncak – puncak dari spektrum FTIR.

#### **II.4.3 X-Ray Diffraction (XRD)**

Sinar-X adalah suatu radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang ( $\lambda=0,1$  nm) yang lebih pendek dibandingkan gelombang cahaya tampak ( $\lambda= 400-800$  nm). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui saat itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak pada material maupun manusia. Sinar-X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material<sup>[48]</sup>. Ketika suatu material dikenai sinar-X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, namun karena keteraturan letak atom-atom penyusunnya, maka pada arah tertentu gelombang hambur tersebut akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain akan berinterferensi destruktif<sup>[49]</sup>. Berkas sinar-X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi.



**Gambar II.8** Difraksi sinar-X pada kisi kristal<sup>[51]</sup>.

Pengertian Hukum Bragg dijelaskan pada Gambar II.8. Hukum Bragg merupakan perumusan matematika tentang persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan tersebut merupakan berkas difraksi. Difraksi sinar-X sangat penting pada identifikasi senyawa kristalin. Intensitas cahaya yang terdifraksi tergantung pada kuantitas material kristalin yang sesuai di dalam sampel. Karena itu sangat mungkin mendapatkan analisa kuantitatif dari sejumlah relatif konstituen dari campuran senyawa padatan<sup>[50]</sup>. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan antara elektron kecepatan tinggi dengan logam target. Dari prinsip dasar ini, maka dibuatlah berbagai jenis alat yang memanfaatkan Hukum Bragg.

XRD merupakan salah satu alat yang memanfaatkan prinsip tersebut dengan menggunakan metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Dasar dari prinsip pendifraksian sinar-X yaitu difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Ketika seberkas sinar-X menumbuk pada bahan, hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif bila terpenuhi persamaan Bragg<sup>[55]</sup>.

$$n \lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \quad (\text{II.7})$$

dengan  $n = 1, 2, 3$

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar x

$d_{hkl}$  = Jarak antar atom bidang Bragg

$\theta$  = Sudut difraksi

Secara umum persamaan jarak bidang dapat ditulis sebagai berikut.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (\text{II.8})$$

Keterangan :

$a$  = sisi kubus

$d$  = jarak antara dua bidang kristal

$h, k, l$  = indeks Miller

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan menghamburkan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiarkan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS-ICDD (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard-International Centre for Diffraction Data*)<sup>[48]</sup>.

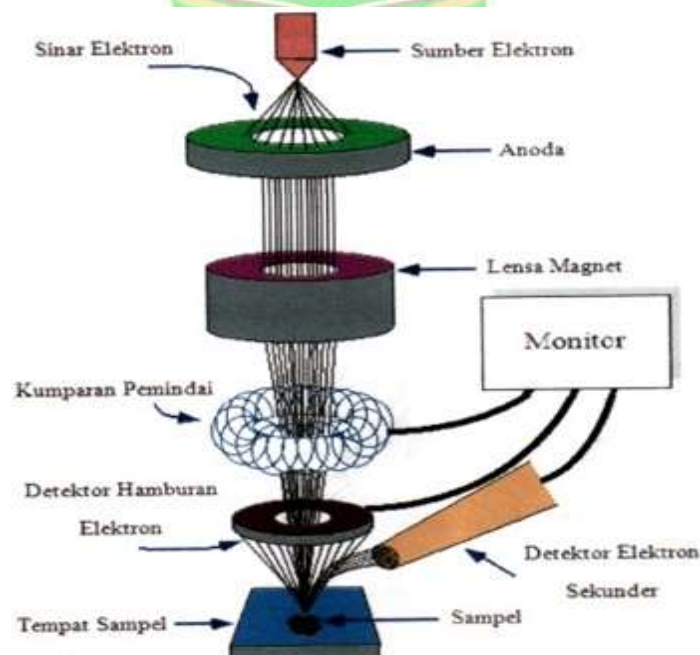
Prinsip kerja XRD secara umum adalah sebagai berikut, XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X. Sinar-X dihasilkan di tabung sinar-X yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam

intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik.

#### II.4.4 Mikroskop Pemindaian Elektron (SEM)

Mikroskop pemindaian elektron (SEM) adalah peralatan untuk menguji atau melihat struktur permukaan sampel dengan perbesaran sampai dengan 1.000.000 kali. Peralatan ini memiliki 2 modus operasional, *Low Vacuum* (untuk sampel non konduktif) dan *High Vacuum* (untuk sampel konduktif). Alat ini dilengkapi EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) yaitu alat yang dapat digunakan untuk menguji kandungan unsur pada bahan yang dilihat struktur permukaannya.

Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi. Permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah, tetapi ada satu arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberikan informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan kemana arah kemiringan. Penjelasan SEM dapat dilihat pada Gambar II.9.



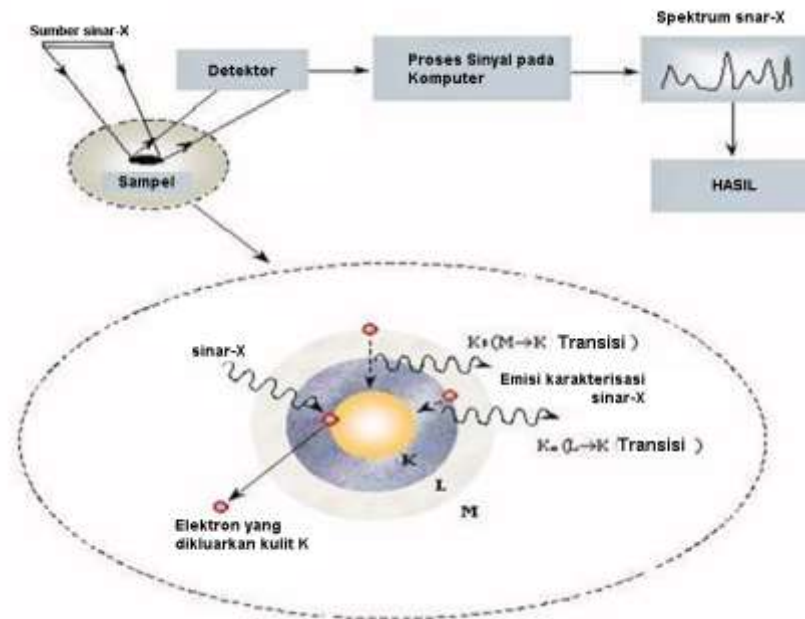
**Gambar II.9** Diagram mikroskop pemindaian elektron.

Citra SEM digunakan untuk topografi yakni menganalisa permukaan dan tekstur (kekerasan, reflektifitas dan sebagainya) dan morfologi yakni menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel.

#### **II.4.5 Energi Dispersif Sinar-X (EDX)**

EDX adalah suatu teknik analitik yang digunakan untuk menganalisis unsur-unsur atau mengkarakterisasi kandungan unsur kimia dari suatu sampel. EDX menganalisis emisi sinar-X oleh unsur dalam partikel. Sinar-X diemisikan dari transisi elektron pada lapisan kulit atom sehingga tingkat energinya tergantung tingkatan energi kulit atom. Hasil karakterisasi menggunakan EDX menghasilkan informasi mengenai elemen/struktur atom dan ciri-ciri khusus yang dimiliki atom tersebut.

Prinsip kerja EDX berdasarkan emisi sinar-X yang dipancarkan dari sebuah sampel akibat adanya sinar-X mengenai sampel tersebut. Sinar-X yang ditembakkan dapat mengeksitasi elektron pada kulit atom sehingga memiliki energi yang berbeda-beda. Elektron yang berada pada kulit yang lebih luar yang memiliki energi lebih besar mengisi kekosongan tersebut. Adanya perbedaan tingkat energi maka akan dihasilkan emisi sinar-X saat elektron dari kulit lebih luar mengisi lubang. Perbedaan energi kemudian ditangkap dan diukur menggunakan spektrometer energi dispersif.



**Gambar II.10** Prinsip kerja energi dispersif sinar-X<sup>[51]</sup>.

Gambar II.10 memperlihatkan komponen utama dari setup EDX yaitu sumber sinar, detektor sinar-X, prosesor pulsa dan analisa. Mikroskop elektron scanning dilengkapi dengan katoda dan magnetik lensa untuk membuat dan fokus sinar elektron dan sejak 1960-an mereka telah dilengkapi dengan kemampuan analisis unsur. Detektor digunakan untuk mengkonversi sinar-X energi ke tegangan sinyal, informasi ini dikirim ke prosesor pulsa yang mengukur sinyal dan melewati mereka ke sebuah *analyzer* untuk menampilkan data dan analisis.

#### **II.4.6 BET *Specific surface area measurement***

Teknik Brauner, Emmet, and Teller (BET) adalah teknik paling umum yang digunakan untuk mengukur *specific surface area* suatu benda padat dan bubuk. Teknik ini menggunakan cara mengekspos benda padat ke suatu gas atau uap pada kondisi yang bervariasi dan mengukur kenaikan berat atau volume sampel. Gas nitrogen umumnya digunakan sebagai molekul probe dan diekspos ke benda padat pada kondisi nitrogen cair. *Specific surface area* benda padat yang diukur didapatkan dari *measured monolayer capacity* dan data *cross sectional area* dari molekul yang dijadikan *probe*. Dalam hal ini nitrogen dimana *cross sectional area* diambil  $16.2\text{\AA}^2/\text{molekul}$ <sup>[53]</sup>. Contoh alat BET dapat dilihat pada Gambar II.11.

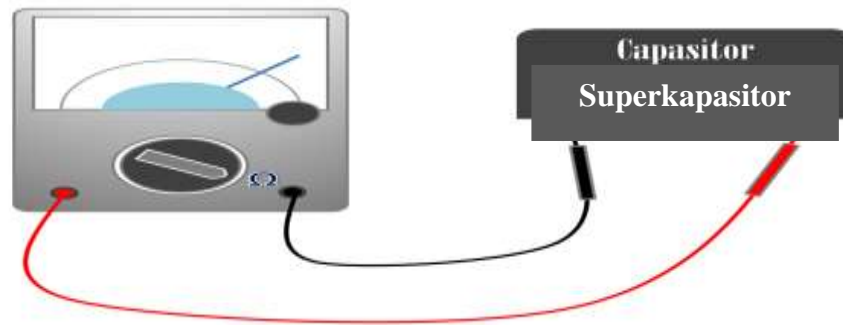


**Gambar II.11** Pengukuran Sifat Listrik Superkapasitor.

BET adalah teknik yang keseluruhan dari prosesnya dilakukan otomatis. Data sampel yang diuji akan otomatis didapatkan pada komputer yang terhubung dengan *BET Analyzer* berupa grafik dan tabel data isotherm, grafik dan tabel data Multiple BET plot, grafik dan tabel data *pore diameter* dan luas *specific surface area*.

### **II.5 Pengukuran Sifat Listrik dari Rangkaian Superkapasitor**

Pengukuran sifat listrik dilakukan dengan menggunakan multi meter. Multimeter adalah alat ukur yang dipakai untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan (resistansi). Itu adalah pengertian multimeter secara umum, sedangkan pada perkembangannya multimeter masih bisa digunakan untuk beberapa fungsi seperti mengukur temperatur, induktansi, frekuensi, dan sebagainya. Ada juga orang yang menyebut multimeter dengan sebutan AVO meter, mungkin maksudnya A (ampere), V (volt), dan O (ohm)<sup>[52]</sup>.



**Gambar II.12** Pengukuran Sifat Listrik Superkapasitor.

Dari Gambar II.12 dapat dilihat cara pengukuran sifat listrik superkapasitor. Multimeter terbagi menjadi dua bagian, yaitu multimeter analog dan digital. Multimeter Digital hampir sama fungsinya dengan multimeter analog tetapi multimeter digital menggunakan tampilan angka digital. Multimeter digital pembacaan pengukuran besaran listrik yang lebih tepat jika dibanding dengan multimeter analog, sehingga multimeter digital dikhususkan untuk mengukur suatu besaran nilai tertentu dari sebuah komponen secara mendetail sesuai dengan besaran yang diinginkan<sup>[54]</sup>.





## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan (Maret 2020 sampai Mei 2021).

Tempat pelaksanaannya adalah :

1. Persiapan penelitian di Labor Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.
2. Pengambilan sampel (kulit buah kakao), proses dehidrasi dan pengeringan sampai berat konstan dilakukan di Kelurahan Laing Kecamatan Tanjung Harapan Kota Solok.
3. Pra-karbon kulit buah kakao dilakukan di Laboratorium Politeknik Pertanian Payakumbuh.
4. Penggilingan kulit buah kakao setelah pra karbon, aktivasi kimia arang kulit buah kakao, proses pembuatan pellet elektroda karbon, aktivasi fisika arang kulit buah kakao dilakukan di Laboratorium Nano Teknologi dan Fisika Material Universitas Riau Pekanbaru.
5. Uji TGA di Laboratorium Biomassa Terpadu Universitas Bandar Lampung.
6. Pengukuran *cyclic voltammetry* (CV) dilakukan Laboratorium Nano teknologi dan Fisika Material Universitas Riau Pekanbaru.
7. Uji SEM dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Andalas.
8. Uji XRD dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Negeri Padang.
9. Uji BET dilakukan di Laboratorium ILRC Universitas Indonesia.
10. Pembuatan superkapasitor dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Andalas.
11. Pengujian Superkapasitor dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Andalas.

### **III.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, dapat dilihat pada **Tabel**

#### **III.1**

**Tabel III.1** Alat dan bahan penelitian

	<b>Alat</b>	<b>Fungsi</b>
1	Oven	Untuk pengeringan saat pra karbon
2	<i>Furnace</i>	Untuk membakar kulit buah kakao (karbonisasi dan aktivasi fisika)
3	<i>Mortar Grinding</i>	Untuk menggerus sampel menjadi serbuk
4	<i>Ball Milling</i>	Untuk menghancurkan dan menghaluskan agar mendapatkan ukuran 38 $\mu\text{m}$
5	Ayakan ukuran 53 $\mu\text{m}$	Penyaring sampel yang telah digerus
6	<i>SEM (JEOL JSM 6510 LA)</i>	Untuk melihat morfologi sampel
7	<i>XRD (X-Pert Powder)</i>	Untuk mengetahui fasa elektroda karbon
9	<i>BET Surface Area Measurement</i>	Untuk mengetahui luas surface area sampel
8	<i>Physics CV UR Rad-Er 5841</i>	Untuk mengukur kapasitansi spesifik elektroda sampel
9	<i>Hidraulic Press</i>	Sebagai alat press untuk membuat pelet
10	Timbangan Analitik	Untuk menimbang sampel
11	<i>Hot Plate Stirrer</i>	Sebagai pemanas pada aktivasi kimia serbuk kulit buah kakao.
12	Cawan Porselen	Sebagai tempat sampel yang akan dikarbonisasi
13	Indikator Universal	Untuk mengukur pH karbon
14	Teflon	Untuk menyangga superkapasitor
15	Gelas Ukur	Untuk mengukur air suling
16	<i>Stainless Steel</i>	Sebagai pengumpul arus
17	Jangka sorong	Untuk mengukur ketebalan dan diameter pelet
18	Kertas Pasir	Untuk pemolesan pellet karbon
19	LCR Meter	Untuk mengukur sifat listrik superkapasitor
	<b>Bahan</b>	
20	Kulit buah kakao	Sebagai bahan sampel penelitian untuk material dasar karbon aktif
21	KOH	Sebagai aktivator kimia
22	Aquadess Steril	Pelarut dan pembersih
23	Kertas Padi	Untuk pelapisan karbon aktif
24	Plat Copper	Untuk mengapit elektroda
25	Separator PVA	Pemisah elektroda

### III.3 Prosedur Kerja

#### III.3.1 Pembuatan Karbon Aktif

Adapun persiapan dalam proses pembuatan sampel sebagai berikut:

## 1. Kulit Kakao

Kulit buah kakao yang digunakan dalam penelitian ini merupakan yang baru diambil dari batangnya, masih bagus dan belum busuk. Kulit buah kakao dibersihkan (dicuci) dengan air kemudian dipotong tipis-tipis, ukuran lebih kurang 5 cm x 1 cm.

## 2. Penjemuran (*dehidrasi*)

Kulit buah kakao yang telah dipotong-potong, dikering anginkan dalam ruangan sampai kadar airnya berkurang sekitar 85% ( lebih kurang 9 Hari).

## 3. Pra-karbonisasi

Pra-karbonisasi merupakan proses dimana kulit buah kakao yang telah dikeringkan dipanaskan pada suhu 250 °C selama 2,5 jam dalam tabung yang terbuat dari *stainless steel* dan dalam keadaan vakum. Proses pra-karbonisasi dengan suhu 250 °C mengakibatkan kulit buah kakao perlahan-lahan berubah menjadi karbon berwarna coklat gelap serta memiliki kandungan karbon lebih kurang 70%. Pra-karbonisasi dilakukan dengan menggunakan oven dengan spesifikasi suhu paling tinggi 250°C dan melalui tahap-tahap yang ditentukan.

## 4. Penghancuran dan Pengayakan

Kulit buah kakao setelah melalui proses pra-karbonisasi akan mempunyai sifat rapuh, sehingga mudah dihaluskan. Proses penghalusan karbon kulit buah kakao dapat dilakukan dengan menggunakan *mortar grinding* dengan tujuan supaya ukurannya lebih kecil sehingga memudahkan saat digiling dengan *ball milling*. Sebanyak 150 gram sampel yang sudah dipra-karbon dimasukkan ke dalam tabung yang didalamnya berisi bola-bola besi sebanyak 30 butir, kemudian di *ball milling* sekitar kurang lebih 20 jam, setiap 4 jam sekali alat *ball milling* diistirahatkan selama 1 jam. Tujuan dari waktu istirahat ini adalah agar alat yang digunakan tetap baik dan tidak mengalami gangguan.

Perlakuan berikutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 38 µm, dengan demikian akan diperoleh butiran serbuk  $\leq 38 \mu\text{m}$ .

Proses ini bertujuan untuk memperoleh faktor padatan pelet yang lebih tinggi apabila menghasilkan pelet *green body* (pelet sebelum dilakukan proses karbonisasi).

## 5. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia merupakan suatu proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik sehingga dapat membentuk pori-pori dengan menggunakan bahan kimia. Aktivasi kimia dilakukan dengan menggunakan aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 M dengan massa sampel masing-masing 20 gram.

Molaritas KOH diperoleh dengan persamaan:

$$M = \frac{\text{Massa zat terlarut}}{\text{MR}} \times \frac{1000}{\text{volume}} \quad (\text{III.1})$$

Selanjutnya gelas beker yang berisi larutan KOH 0,3 M diletakkan di atas *hot plate* menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C selama satu jam, setelah itu masukkan serbuk kulit buah kakao dan aduk sampel hingga tercampur rata lalu biarkan selama 2 jam dengan suhu dipertahankan konstan 80 °C. Matikan alat dan biarkan suhu sampel turun hingga mencapai suhu kamar (30 °C). Proses ini bertujuan untuk memperbesar pori pada sampel kulit buah kakao.

Lakukan pencucian pada sampel secara berulang-ulang dengan menggunakan air suling dan lakukan pengujian nilai pH (potensial Hidrogen) dengan menggunakan kertas indikator universal hingga pH sampel tersebut netral (pH = 7). Selanjutnya sampel dikeringkan menggunakan oven selama 24 jam dengan suhu 105 °C. Setelah sampel benar-benar kering selanjutnya dihaluskan kembali dengan menggunakan *mortar grinding* agar sampel yang menggumpal pada saat aktivasi kimia kembali terpisah seperti semula. Proses yang sama juga dilakukan pada sampel dengan aktivasi kimia KOH 0,4 M.

## 6. Pencetakan Elektroda Karbon

Setelah sampel kulit buah kakao selesai diaktivasi kimia, kemudian sampel ditimbang menggunakan neraca digital dengan berat sampel sesuai

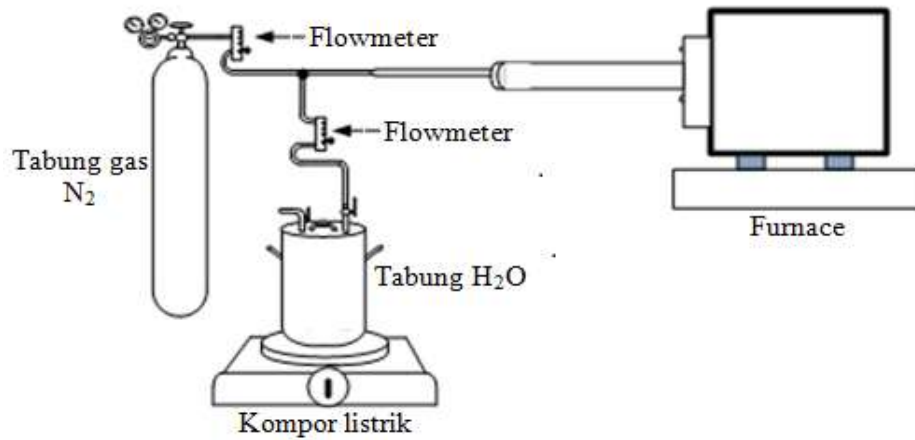
yang diinginkan (0,7 g), selanjutnya dilakukan pencetakan pelet sampel. Pencetakan pelet dilakukan dengan menggunakan alat *hydraulic press*. Cetakan pelet terbuat dari besi pejal yang mempunyai diameter 7 cm dan tinggi 10 cm, kemudian pada bagian tengahnya terdapat lubang dengan diameter 2 cm sebagai wadah sampel yang akan dicetak. Serbuk kulit buah kakao ditimbang sebanyak 0,7 g kemudian dimasukkan ke dalam cetakan. Pencetakan dilakukan dengan pemberian tekanan 8 ton oleh alat *hydraulic press*. Tekanan 8 ton merupakan tekanan ideal yang dapat memampatkan serbuk di dalam cetakan sehingga pelet yang dihasilkan padat, kuat, dan tidak mudah pecah.

## 7. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses pemanasan bahan dasar yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa lain dan menghasilkan karbon murni dengan temperatur tinggi dan dengan jumlah oksigen yang dibatasi. Pelet *green body* dikarbonisasi pada suhu 600 °C. Proses karbonisasi dilakukan pada oven pemanasan suhu tinggi dengan ketentuan oven tersebut memiliki lingkungan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) tujuannya untuk menghindari pelet terurai menjadi abu. Proses tersebut membutuhkan waktu kurang lebih 8 - 9 jam sesuai dengan temperatur pemanasan yang diberikan. Pemanasan merupakan aspek utama yang diberikan dalam proses karbonisasi.

## 8. Aktivasi Fisika

Pelet karbon yang dibuat dari proses karbonisasi kemudian diaktivasi melalui aktivasi fisika dengan menggunakan gas CO<sub>2</sub> dengan suhu 600 °C, 700 °C, 800 °C dan 900 °C , selama 4 jam untuk meningkatkan luas permukaan pelet karbon. Adapun alat yang digunakan pada saat karbonisasi dan aktivasi fisika ditunjukkan pada Gambar III.1.



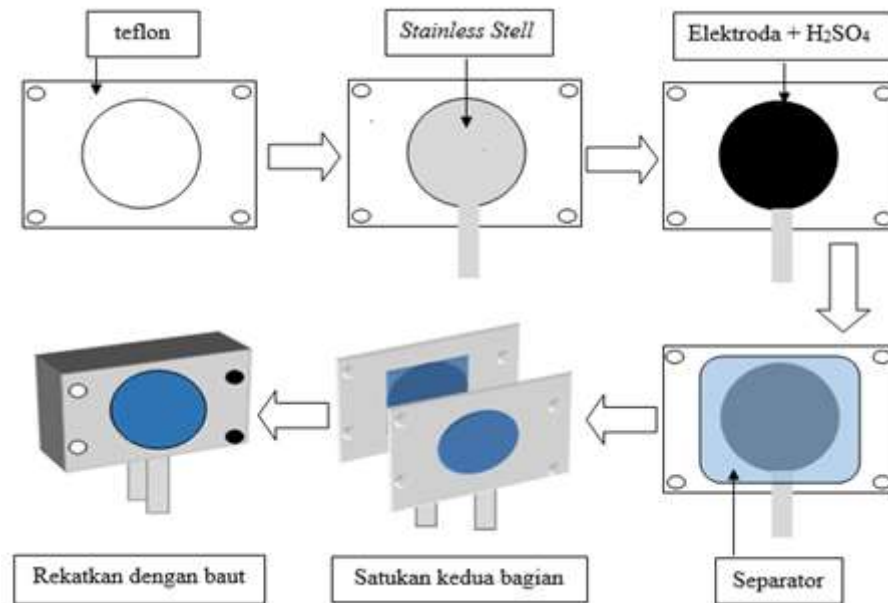
**Gambar III.1** Alat pada proses karbonisasi dan aktivasi fisika.

## 9. Pemolesan dan Pencucian

Pemolesan dilakukan menggunakan kertas pasir P 1200 Cw untuk mendapatkan permukaan yang rata serta mengurangi cacat permukaan pada pelet karbon yang terjadi selama proses karbonisasi dan aktivasi. Selanjutnya pencucian dilakukan untuk meningkatkan kemurnian kandungan karbon. Pencucian ini dilakukan secara berulang kali menggunakan air suling selama 24 jam guna menetralkan pH dan dilakukan pengujian nilai pH sampai pelet karbon tersebut mempunyai  $\text{pH} = 7$  atau pH netral. Pengukuran pH ini dilakukan pada waktu pergantian air.

## 10. Pembuatan Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor dibuat dengan permukaannya berbentuk lingkaran dengan susunan komponennya : teflon, pengumpul arus (*stainless steel*), elektroda karbon, separator (pemisah), elektroda karbon, dan pengumpul arus. Sebelum elektroda digunakan, terlebih dahulu direndam dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 M. Selanjutnya sel superkapasitor dirangkai seperti pada Gambar III.2.



**Gambar III.2** Komponen Penyusunan Sel Supercapacitor

### III.3.2 Karakterisasi Sifat Fisis Elektroda Karbon Kulit Buah Kakao

Karakterisasi sifat fisis bertujuan untuk mengetahui morfologi, porositas dan struktur kristal pada elektroda karbon dari kulit buah kakao yang didapat melalui beberapa pengukuran. Pengukuran-pengukuran yang dilakukan dalam mengkarakterisasi sifat fisis dari elektroda karbon kulit buah kakao sebagai berikut.

#### 1. Pengukuran Densitas

Massa, diameter dan tebal dari 7 elektroda sampel untuk masing-masing perlakuan aktivasi dicatat dan dihitung pada kondisi sebelum pencetakan pelet, dan setelah proses karbonisasi-aktivasi. Perhitungan densitas sebelum dan sesudah karbonisasi-aktivasi dapat dilakukan dengan mengambil data pencatatan tersebut. Diameter dan tebal elektroda karbon diukur dengan jangka sorong, dan massa elektroda dengan menggunakan timbangan digital.

#### 2. Sifat Kestabilan Termal Biomassa Kulit Buah Kakao

Pengukuran *Termogravimetri Analisis* (TGA) bertujuan untuk mengetahui temperatur termal terbaik pada sampel yang akan diuji. *Differential*

*Termogravimetry* (DTG) akan menghasilkan tahanan termal. *Thermal Gravimetry* (TG) merupakan analisa termal dalam menentukan penurunan massa sebagai fungsi temperatur. Cara pemakaian alat TGA yaitu material yang berupa serbuk dimasukkan kedalam cawan kecil dari bahan platina, atau alumina ataupun teflon. Pemilihan bahan dari cawan ini perlu disesuaikan dengan bahan uji. Analisa memerlukan juga bahan standar sebagai referensi dan penyeimbang dari timbangan mikro. Biasanya dipakai alumina sebagai standar yang juga perlu dimasukkan dalam cawan. Alumina dan bahan uji kemudian dimasukkan kedalam alat TGA seperti Gambar III.3.



**Gambar III.3** Proses memasukkan bahan kedalam alat TGA.

Meletakkan cawan-cawan diatas pan timbangan perlu dilakukan dengan sangat hati – hati, karena lengan dari pan timbangan sangat mudah patah sehingga dalam menempatkan dan mengambil kontainer perlu dilakukan dengan hati – hati. Setelah sampel dimasukkan maka dilanjutkan memprogram urutan pemanasannya. Pemanasan bisa diprogram sesuai dengan kebutuhan yaitu mengatur memanaskan sampel sampai 110 °C dan ditahan 10 menit kemudian pemanasan dengan cepat dilanjutkan sampai 900 °C kemudian suhu diturunkan menjadi 600 °C ditahan selama 30 menit. Pengamatan (TGA) dilakukan Laboratorium Biomassa Terpadu Universitas Bandar Lampung.



### **3. Pengamatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan Energi Dispersif Sinar-X (EDX)**

Pengujian karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi dari sampel material tersebut. Selain itu, karakterisasi SEM bertujuan untuk menganalisa ukuran pori serta besarnya struktur pori yang terbentuk pada elektroda karbon. Pengukuran menggunakan EDX digunakan untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam material. SEM dan EDX merupakan dua perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analitis dan lebih efisien. Pengamatan SEM dilakukan di Laboratorium FT Universitas Andalas.

### **4. Pengukuran Difraksi Sinar-X ( XRD )**

Pengukuran difraksi sinar-X (XRD) bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada elektroda karbon. Karakterisasi difraksi sinar-X dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang. Proses Difraksi sinar-X (XRD) dilakukan pada elektroda karbon dengan mengarahkan sinar-X ke permukaan sampel. Sinar-X yang mengenai permukaan sampel tersebut akan didifraksikan oleh atom-atom yang berada pada kisi periodik. Detektor kemudian merekam pola sinar yang didifraksikan sehingga diperoleh pola difraksi sinar-X dari sampel yang akan ditampilkan pada layar monitor. Jarak antara kisi sampel dapat ditentukan berdasarkan persamaan II.7.

### **5. Pengukuran BET *Specific Surface Area Measurement***

Pengukuran BET bertujuan untuk mengetahui *Specific surface area* dari massa aktif elektroda. Pengujian BET dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Berikut tahapan pengujian BET:

1. Massa aktif dalam bentuk serbuk.
2. Serbuk massa aktif dimasukkan ke *sample cell*.
3. Timbang berat massa aktif.
4. Masukkan *sample cell* ke *degasser*.

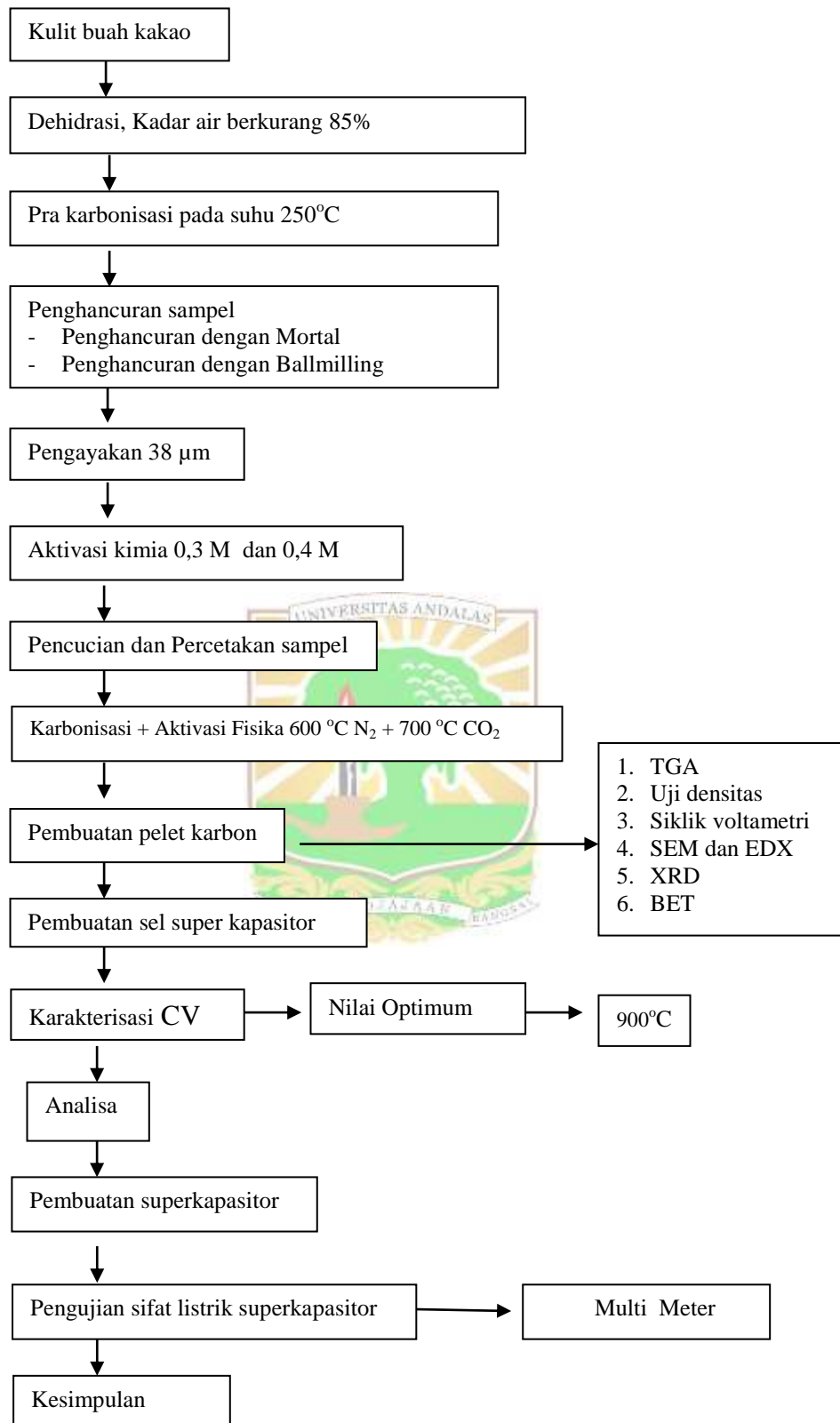
5. Lakukan proses *degassing* untuk menghilangkan zat- zat yang mungkin mengkontaminasi specimen. Dengan melakukan hal ini maka pengukuran *specific surface area* akan menjadi lebih akurat karena *specific surface area* yang terdeteksi hanya *specific surface area* spesimen yang kita uji, pada suhu 700 °C dan 800 °C selama 6 jam.
6. Keluarkan *sample cell*.
7. Pasang *sample cell* pada *BET analyzer*.
8. Pasang pendingin pada *BET analyzer* untuk mendinginkan sampel karena ketika gas inert digunakan gas tersebut akan lebih susah mengalami absorpsi dalam temperatur ruang.
9. Mulai *BET analyzer* melalui komputer dan biarkan sampai pengambilan data selesai.
10. Ambil data spesimen pada komputer.

### III.3.3 Pengukuran Sifat Elektrokimia Sel Superkapasitor

Pengukuran sifat elektrokimia dengan metode voltametri siklik (CV) bertujuan untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik dari sel superkapasitor. Pengukuran dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau. Metode ini dilakukan dengan menggunakan alat Physics CV UR Rad-Er 5841 yang dikontrol dengan *software cyclic voltammetry CV v6* dengan lebar potensial dari 0 mV sampai dengan 500 mV terhadap elektroda dan menggunakan laju pemindaian 1 mV/s. Data pengukuran *Cyclic Voltammogram* (CV) dinyatakan dalam kurva kapasitansi spesifik ( $C_{sp}$ ) terhadap tegangan dalam variasi *scan rate*. Kapasitansi spesifik (F/g) yang akan dihasilkan dengan menggunakan metode siklis voltammogram dapat dihitung menggunakan Persamaan II.6.

### III.3.4 Diagram Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Diagram alir pembuatan elektroda superkapasitor kulit buah kakao dapat dilihat pada Gambar III.4.



Gambar III.4 Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Sifat Fisis Elektroda Karbon

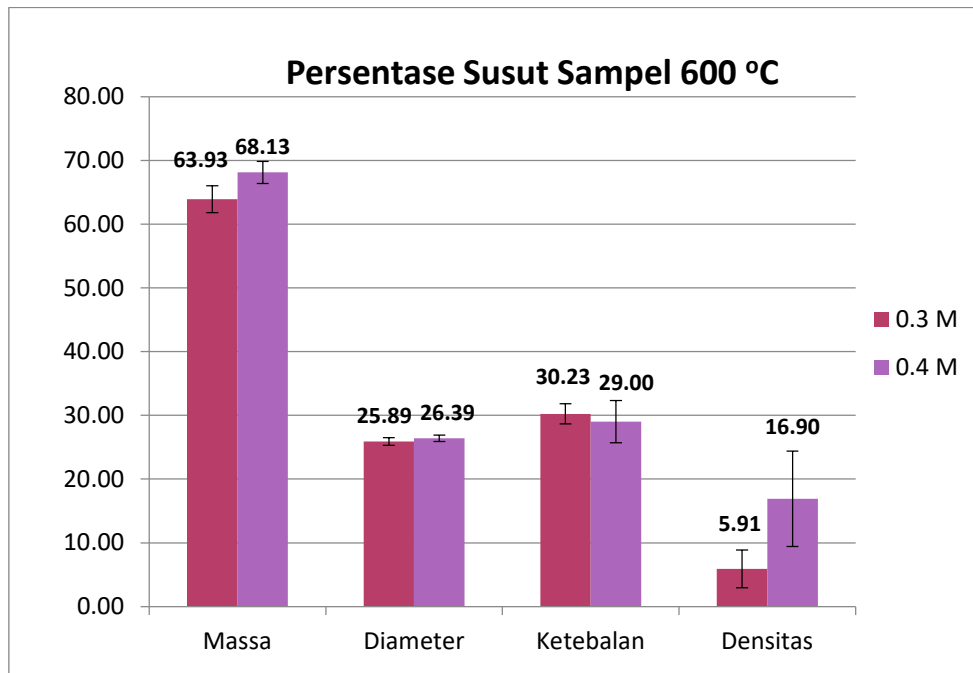
Karakterisasi sifat fisis meliputi pengukuran densitas, sifat kestabilan termal, mikroskop pemindaian elektron (SEM), energi dispersif sinar-X (EDX) dan difraksi sinar-X (XRD).

#### IV.1.1 Analisa Massa, Diameter, Tebal dan Densitas karbon aktif

Proses karbonisasi dan aktivasi menyebabkan susut massa dan susut dimensi. Susut massa terjadi akibat proses karbonisasi dan aktivasi, disebabkan terputusnya ikatan senyawa atau bahan lain selain karbon seperti kadar air, oksigen dan nitrogen. Sedangkan susut dimensi disebabkan oleh penyusunan kembali gugus atom karbon selama proses karbonisasi dan aktivasi<sup>[15]</sup>. Susut massa dan susut dimensi tentunya akan menyebabkan perubahan susut densitas, yang ditunjukkan dengan munculnya porositas pada sampel.

##### 1. Aktivasi Kimia Dengan Konsentrasi Aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 M pada Suhu 600 °C

Persentase susut massa, susut dimensi dan densitas pada aktivasi fisika 600 °C dengan variasi aktivasi kimia 0,3 M dan 0,4 M disajikan pada Gambar IV.1. Persentase penyusutan dimensi massa, diameter, ketebalan dan densitas pelet karbon dengan masing-masing dilakukan tujuh kali pengukuran pada tiap sampel. Hilangnya massa yang terjadi pada sampel 0,4 M dengan suhu aktivasi 600 °C sebesar 68,18% lebih besar dari pada hilangnya massa pada sampel 0,3 M yaitu 63,93% dengan suhu aktivasi 600 °C namun tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan oleh karena proses karbonisasi menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik kulit buah kakao dan melepaskan zat yang mudah menguap seperti uap air selama proses karbonisasi dan aktivasi.



**Gambar IV.1** Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk sampel suhu aktivasi 600°C

Susut massa yang dominan akan berimbans pada susut diameter dan ketebalan. Terdapat perbedaan yang signifikan pada dimensi ketebalan, susut ketebalan pada sampel 0,3 M suhu 600 °C adalah 30,23% lebih besar dari pada sampel 0,4 M suhu 600 °C yakni 29,00%, sementara susut diameter menunjukkan nilai yang berdekatan yaitu 25,89% untuk sampel 0,3 M 600 °C dan 26,39% untuk sampel 0,4 M 600 °C. Munculnya nilai parameter fisis tersebut secara jelas mengakibatkan densitas yang lebih rendah pada elektroda karbon setelah aktivasi dibanding elektroda karbon sebelum karbonisasi [44].

Keseluruhan proses susut massa, diameter dan ketebalan pada sampel menyebabkan berkurangnya nilai densitas. Densitas sampel 0,3 M 600 °C berkurang dari 0,873 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,822 g/cm<sup>3</sup> sedangkan sampel 0,4 M 600 °C berkurang dari 0,951 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,788 g/cm<sup>3</sup> setelah karbonisasi dan aktivasi, seperti disajikan pada Tabel IV.1.

Proses karbonisasi-aktivasi pada masing-masing variasi konsentrasi menyebabkan penyusutan dimensi dan densitas pelet karbon. Penambahan konsentrasi KOH dari 0,3 M menjadi 0,4 M, menyebabkan terjadinya

penurunan nilai densitas pada masing-masing pelet karbon. Sampel 0,3 M 600 °C memiliki nilai densitas setelah karbonisasi-aktivasi sebesar 0,822 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan sampel 0,4 M 600 °C memiliki nilai densitas sebesar 0,788 g/cm<sup>3</sup>.

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya<sup>[26]</sup> pada pembuatan elektroda superkapasitor dari kayu karet dengan menggunakan aktivasi kimia KOH dan HNO<sub>3</sub>, yang menyatakan bahwa nilai densitas masing-masing elektroda karbon menyebabkan pengurangan setelah aktivasi. Pengurangan densitas pada elektroda karbon disebabkan karena terjadinya penambahan struktur pori yang diakibatkan oleh kombinasi aktivasi<sup>[26]</sup>.

Penelitian lainnya adalah pada pembuatan elektroda superkapasitor dari limbah batang pisang dengan variasi suhu aktivasi<sup>[14]</sup> juga mengatakan bahwa massa dan densitas elektroda karbon menurun dengan meningkatnya aktivasi suhu. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan meningkatnya energi untuk melepaskan senyawa selain karbon. Pengurangan massa sebanding dengan pengurangan densitas<sup>[14]</sup>.

**Tabel IV.1** Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 600 °C

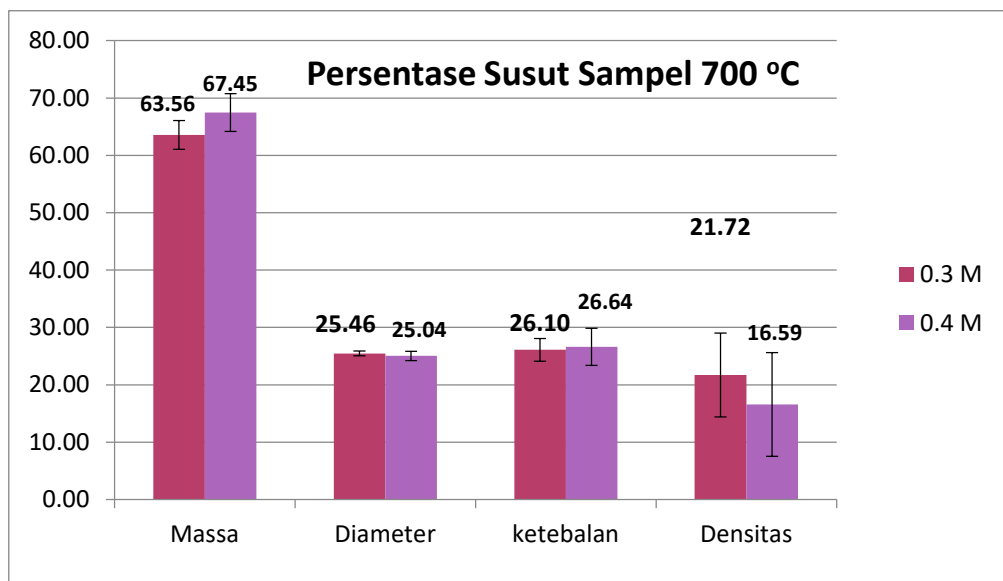
Konsentrasi	Sampel	m(g)	d(cm)	t(cm)	ρ(g/cm <sup>3</sup> )
0,3 M	Pra-Karbonisasi	0,705	1,985	0,261	0,873
	Setelah aktivasi	0,254	1,471	0,182	0,822
0,4 M	Pra-Karbonisasi	0,704	1,982	0,240	0,951
	Setelah aktivasi	0,224	1,459	0,170	0,788

## 2. Aktivasi Kimia Dengan Konsentrasi Aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 M pada Suhu 700°C

Persentase susut massa, susut dimensi dan densitas pada aktivasi fisika 700 °C dengan variasi aktivasi kimia 0,3 M dan 0,4 M disajikan pada Gambar IV.2.

Persentase penyusutan dimensi massa, diameter, ketebalan dan densitas pelet karbon masing-masing diukur tiga kali pada tiap sampel. Hilangnya massa yang terjadi pada sampel 0,4 M dengan suhu aktivasi 700

°C sebesar 67,45% lebih besar dari pada hilangnya massa pada sampel 0,3 M yaitu 63,56% dengan suhu aktivasi 700 °C namun tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan oleh karena proses karbonisasi menyebabkan terjadinya dekomposisi material organik kulit buah kakao dan melepaskan zat yang mudah menguap seperti uap air selama proses karbonisasi dan aktivasi.



**Gambar IV.2** Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk sampel suhu aktivasi 700°C

Susut massa yang dominan akan berimbang pada susut diameter dan ketebalan. Perbedaan pada dimensi ketebalan tidak terlalu signifikan, susut ketebalan pada sampel 0,3 M suhu 700 °C adalah 26,10% lebih kecil dari pada sampel 0,4 M suhu 700 °C yakni 26,64%, sementara susut diameter menunjukkan nilai yang berdekatan yaitu 25,46% untuk sampel 0,3 M 700 °C dan 25,04% untuk sampel 0,4 M 700 °C. Munculnya nilai parameter fisis tersebut secara jelas akan menghasilkan densitas yang lebih rendah pada elektroda karbon setelah aktivasi dibanding elektroda karbon sebelum karbonisasi<sup>[44]</sup>.

Keseluruhan proses susut massa, diameter dan ketebalan pada sampel menyebabkan berkurangnya nilai densitas. Densitas sampel 0,3 M 700 °C berkurang dari 0,918 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,850 g/cm<sup>3</sup> sedangkan sampel 0,4 M

700 °C berkurang dari 0,950 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,801 g/cm<sup>3</sup> setelah karbonisasi dan aktivasi, seperti disajikan pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi pada masing-masing variasi konsentrasi menyebabkan penyusutan dimensi dan densitas pelet karbon. Penambahan konsentrasi KOH dari 0,3 M menjadi 0,4 M, menyebabkan terjadinya penurunan nilai densitas pada masing-masing pelet karbon. Sampel 0,3 M 700 °C memiliki nilai densitas setelah karbonisasi-aktivasi sebesar 0,850 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan sampel 0,4 M 700 °C memiliki nilai densitas sebesar 0,801 g/cm<sup>3</sup>.

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya<sup>[26]</sup> pada pembuatan elektroda superkapasitor dari kayu karet dengan menggunakan aktivasi kimia KOH dan HNO<sub>3</sub>, yang menyatakan bahwa nilai densitas masing-masing elektroda karbon menyebabkan pengurangan setelah aktivasi. Pengurangan densitas pada elektroda karbon disebabkan karena terjadinya penambahan struktur pori yang diakibatkan oleh kombinasi aktivasi<sup>[26]</sup>.

Penelitian lainnya adalah pada pembuatan elektroda superkapasitor dari limbah batang pisang dengan variasi suhu aktivasi<sup>[14]</sup> juga mengatakan bahwa massa dan densitas elektroda karbon menurun dengan meningkatnya suhu aktivasi. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan meningkatnya energi untuk melepaskan senyawa selain karbon. Pengurangan massa sebanding dengan pengurangan densitas<sup>[14]</sup>.

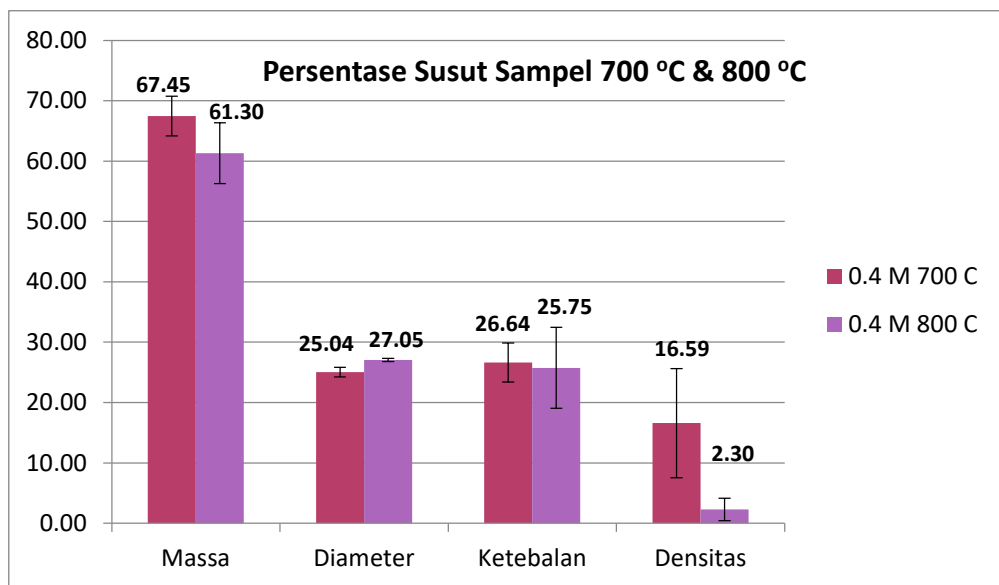
**Tabel IV.2** Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 700°C

Konsentras	Sampel	m(g)	d(cm)	t(cm)	ρ(g/cm <sup>3</sup> )
0,3 M	Pra-karbonisasi	0,703	1,985	0,254	0,918
	Setelah aktivasi	0,256	1,480	0,187	0,850
0,4 M	Pra-karbonisasi	0,689	1,978	0,240	0,950
	Setelah aktivasi	0,230	1,483	0,179	0,801



### 3. Aktivasi Kimia Dengan Konsentrasi Aktivator KOH 0,4 M pada Suhu 700°C dan 800°C

Persentase susut massa, susut dimensi dan densitas dengan aktivator KOH 0,4 M pada suhu aktivasi 700 °C dan 800 °C disajikan pada Gambar IV.3.



**Gambar IV.3** Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk semua sampel suhu 700°C dan 800°C.

Gambar IV.3 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi memunculkan nilai persentase susut massa, ketebalan dan densitas yang lebih tinggi pada sampel dengan konsentrasi 0,4 M 700 °C dibandingkan sampel 0,4 M 800 °C. Susut massa, ketebalan dan densitas pada sampel 0,4 M 700 °C berturut-turut adalah sebesar 67,45%, 26,64% dan 16,59% dan pada sampel 0,4 M 800 °C adalah sebesar 61,30%, 25,75% dan 2,30%. Sedangkan pada parameter fisis diameter dengan kondisi yang sebaliknya, yaitu lebih tinggi susut diameter pada sampel 0,4 M 800 °C sebesar 27,05% dan pada sampel 0,4 M 700 °C sebesar 25,04%, namun perbedaannya tidak terlalu mencolok. Susut terbanyak lebih dominan pada massa karbon aktif. Penyusutan parameter fisis pada masing-masing sampel menyebabkan berkurangnya

densitas, adapun data densitas setelah karbonisasi dan aktivasi disajikan pada Tabel IV.3.

**Tabel IV.3** Massa, diameter, ketebalan, dan densitas elektroda karbon 0,4 M sebelum dan setelah aktivasi fisika 700 °C dan 800 °C

Suhu	Sampel	m(g)	d(cm)	t(cm)	$\rho(\text{g/cm}^3)$
700°C	Pra-karbonisasi	0,689	1,978	0,240	0,950
	Setelah aktivasi	0,230	1,483	0,179	0,801
800°C	Pra-karbonisasi	0,664	1,967	0,227	0,966
	Setelah aktivasi	0,250	1,424	0,187	0,840

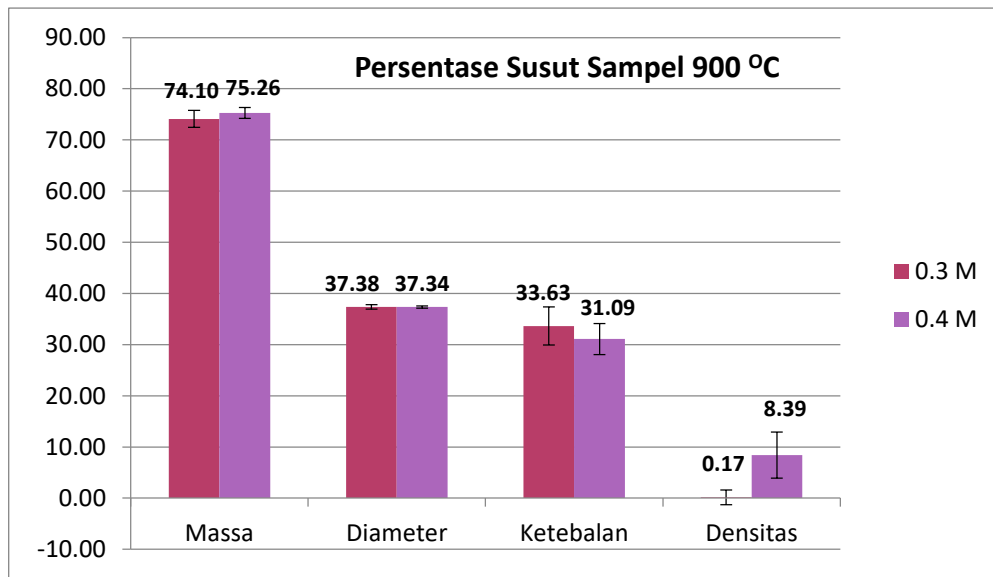
Data pada Tabel IV. 3 menunjukkan bahwa pengurangan nilai densitas sampel 0,4 M 700 °C setelah karbonisasi-aktivasi dari 0,950 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,801 g/cm<sup>3</sup> dan sampel 0,4 M 800 °C dari 0,966 g/cm<sup>3</sup> menjadi 0,840 g/cm<sup>3</sup>. Sebaliknya, penambahan suhu aktivasi dari 700 °C menjadi 800 °C menyebabkan terjadinya kenaikan densitas. Penambahan suhu aktivasi menyebabkan reaksi penguapan air karbon lebih banyak, hal ini menyebabkan jumlah pori meningkat akibatnya partikel menjadi rapuh, rusak dan pecah. Pemecahan partikel menjadi partikel yang lebih halus dan akan menutupi pori-pori yang telah terbentuk, sehingga densitas sampel akan meningkat<sup>[13]</sup>.

#### 4. Aktivasi Kimia Dengan Konsentrasi Aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 M pada Suhu 900°C

Persentase susut massa, susut dimensi dan densitas pada aktivasi fisika 900 °C dengan variasi aktivasi kimia 0,3 M dan 0,4 M disajikan pada Gambar IV.4.

Persentase penyusutan dimensi massa, diameter, ketebalan dan densitas pelet karbon masing-masing sampel diukur tiga kali. Hilangnya massa yang terjadi pada sampel 0,4 M dengan suhu aktivasi 900 °C sebesar 75,25% lebih besar dari pada hilangnya massa pada sampel 0,3 M yaitu 74,10% dengan suhu aktivasi 900 °C namun tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan oleh karena proses karbonisasi menyebabkan terjadinya

dekomposisi material organik kulit buah kakao dan melepaskan zat yang mudah menguap seperti uap air selama proses karbonisasi dan aktivasi.



**Gambar IV.4** Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas untuk suhu aktivasi 900 °C

Susut massa yang dominan akan berimbas pada susut diameter dan ketebalan. Terdapat perbedaan yang signifikan pada dimensi ketebalan, susut ketebalan pada sampel 0,3 M suhu 900 °C adalah 33,63% lebih besar dari pada sampel 0,4 M suhu 900 °C yakni 31,09%, sementara susut diameter menunjukkan nilai yang berdekatan yaitu 37,38% untuk sampel 0,3 M 900 °C dan 37,34% untuk sampel 0,4 M 700 °C. Munculnya nilai parameter fisis tersebut secara jelas akan menghasilkan densitas yang lebih rendah pada elektroda karbon setelah aktivasi dibanding elektroda karbon sebelum karbonisasi<sup>[44]</sup>.

Keseluruhan proses susut massa, diameter dan ketebalan pada sampel menyebabkan berkurangnya nilai densitas. Densitas sampel 0,3 M 900 °C berkurang dari 1,085 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,081 g/cm<sup>3</sup> sedangkan sampel 0,4 M 900 °C berkurang dari 1,145 g/cm<sup>3</sup> menjadi 1,049 g/cm<sup>3</sup> setelah karbonisasi dan aktivasi, seperti disajikan pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi pada masing-masing variasi konsentrasi menyebabkan penyusutan dimensi dan densitas pelet karbon. Penambahan konsentrasi KOH dari 0,3 M menjadi 0,4 M, menyebabkan terjadinya penurunan nilai densitas pada masing-masing pelet karbon. Sampel 0,3 M 900 °C memiliki nilai densitas setelah karbonisasi-aktivasi sebesar 1,081 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan sampel 0,4 M 900 °C memiliki nilai densitas sebesar 1,048 g/cm<sup>3</sup>.

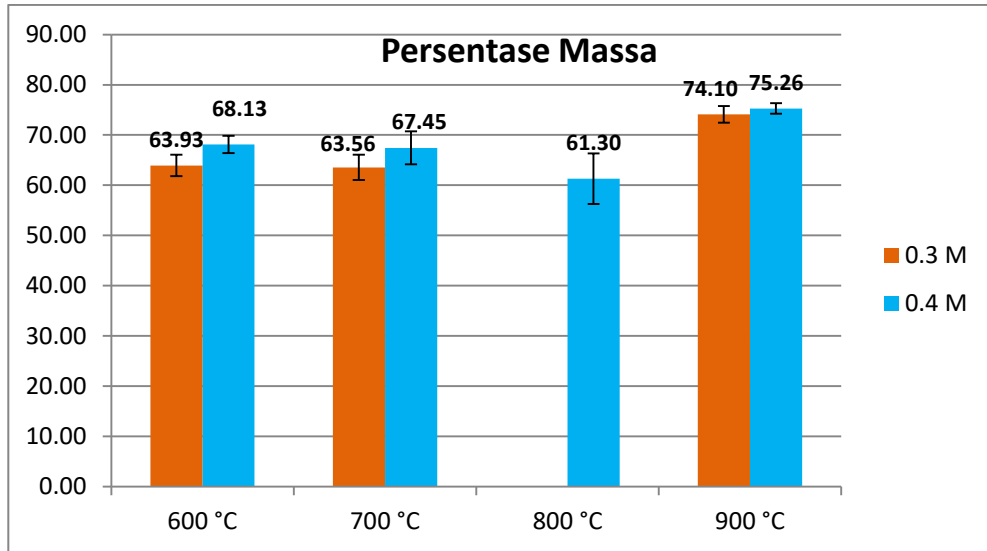
Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya<sup>[26]</sup> pada pembuatan elektroda superkapasitor dari kayu karet dengan menggunakan aktivasi kimia KOH dan HNO<sub>3</sub>, yang menyatakan bahwa nilai densitas masing-masing elektroda karbon menyebabkan pengurangan setelah aktivasi. Pengurangan densitas pada elektroda karbon disebabkan karena terjadinya penambahan struktur pori yang diakibatkan oleh kombinasi aktivasi<sup>[26]</sup>.

Penelitian lainnya adalah pada pembuatan elektroda superkapasitor dari limbah batang pisang dengan variasi suhu aktivasi<sup>[14]</sup> juga mengatakan bahwa massa dan densitas elektroda karbon menurun dengan meningkatnya aktivasi suhu. Peningkatan suhu aktivasi menyebabkan meningkatnya energi untuk melepaskan senyawa selain karbon. Pengurangan massa sebanding dengan pengurangan densitas<sup>[14]</sup>.

**Tabel IV.4** Massa, diameter, ketebalan, dan densitas sebelum dan setelah aktivasi fisika 900 °C

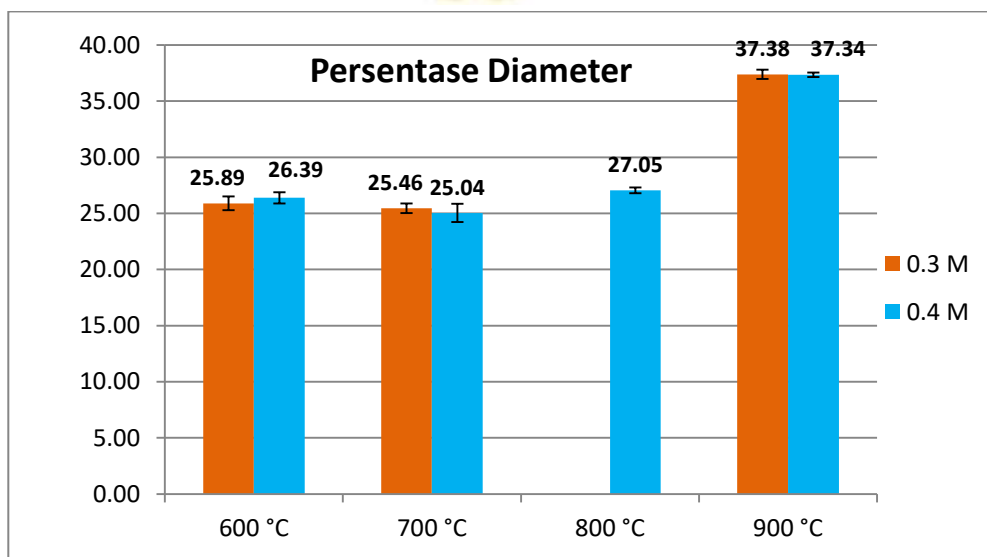
Konsentrasi	Sampel	m(g)	d(cm)	t(cm)	ρ(g/cm <sup>3</sup> )
0,3 M	Pra-karbonisasi	0,702	1,958	0,215	1,085
	Setelah aktivasi	0,181	1,226	0,142	1,081
0,4 M	Pra-karbonisasi	0,709	1,958	0,206	1,145
	Setelah aktivasi	0,175	1,227	0,141	1,049

**5. Persentase penyusutan massa, diameter, ketebalan dan densitas dengan konsentrasi aktivator KOH 0,3 M dan 0,4 pada semua suhu**



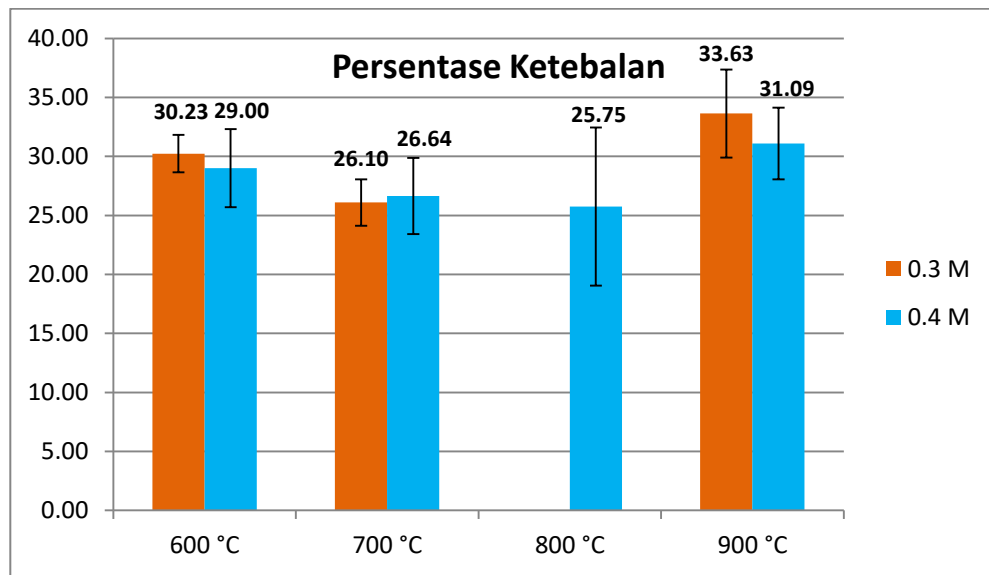
**Gambar IV.5** Persentase susut massa untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C

Gambar IV.5 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi memunculkan nilai persentase susut massa, yang lebih tinggi pada sampel dengan konsentrasi 0,4 M 900 °C yaitu 75,26% dibandingkan sampel lainnya, sedangkan susut massa yang rendah pada sampel 0,4 M 800 °C sebesar 61,30%.



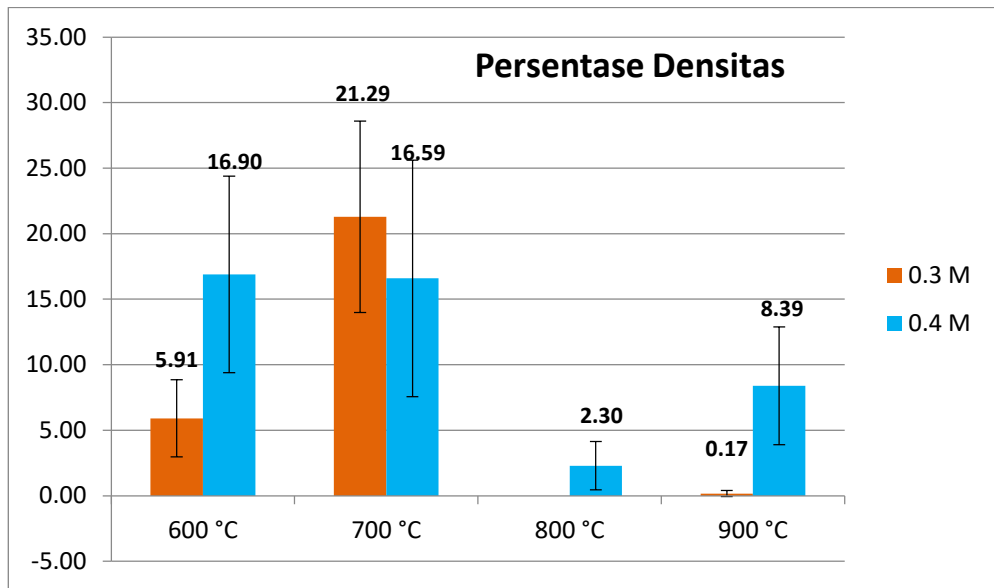
**Gambar IV.6** Persentase susut diameter untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C

Gambar IV.6 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi memunculkan nilai persentase susut diameter, susut diameter yang lebih tinggi pada sampel dengan konsentrasi 0,3 M 900 °C yaitu 37,38% dibandingkan sampel lainnya, sedangkan susut diameter yang rendah pada sampel 0,4 M 700 °C sebesar 25,04%.



**Gambar IV.7** Persentase susut tebal untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C

Gambar IV.7 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi memunculkan nilai persentase susut ketebalan, susut ketebalan yang lebih tinggi pada sampel dengan konsentrasi 0,3 M 700 °C yaitu 33,63% dibandingkan sampel lainnya, sedangkan susut ketebalan yang rendah pada sampel 0,4 M 800 °C sebesar 25,75%.



**Gambar IV.8** Persentase susut densitas untuk suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C, dan 900 °C

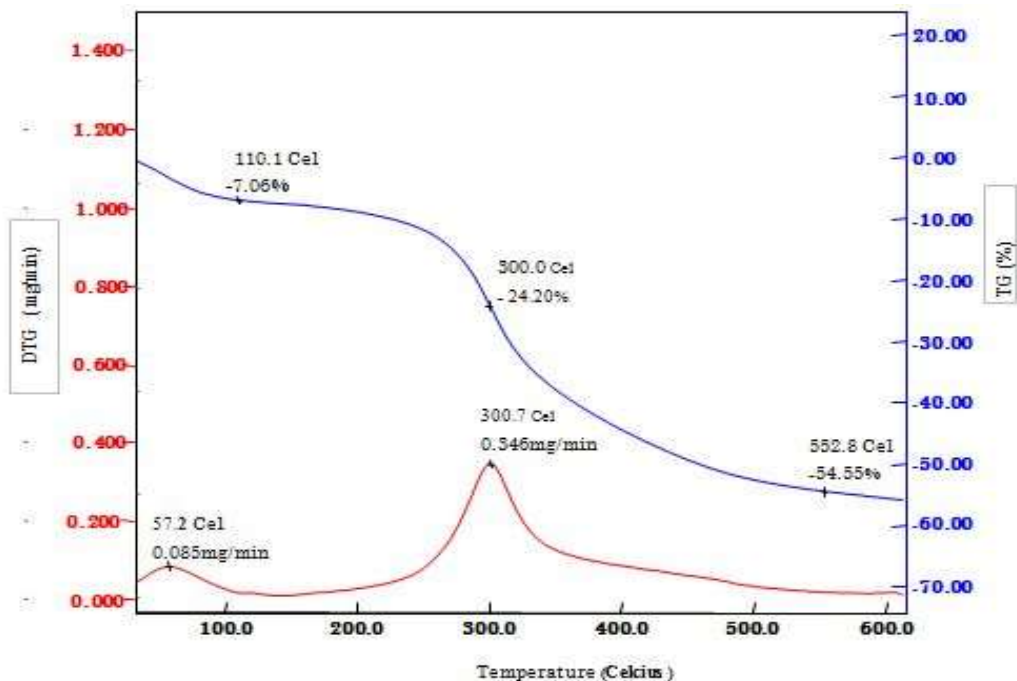
Gambar IV.8 menunjukkan bahwa proses karbonisasi-aktivasi memunculkan nilai persentase susut densitas, yang lebih tinggi pada sampel dengan konsentrasi 0,4 M 700 °C yaitu 21,29% dibandingkan sampel lainnya, sedangkan susut densitas yang rendah pada sampel 0,3 M 900 °C sebesar 0,17%.

#### IV.1.2 Kestabilan Termal Biomassa Kulit Buah Kakao

Kurva DTG/TG dari serbuk kulit buah kakao ditunjukkan pada Gambar IV.9. Garis biru adalah grafik penurunan massa sampel terhadap waktu (TG) dan garis merah adalah grafik perubahan temperatur terhadap waktu (DTG).

Kurva TG menunjukkan adanya tiga titik penyusutan massa yang terjadi. Terbentuknya tiga tahap perubahan massa sampel yang signifikan. Titik pertama adalah penurunan massa dengan persentase sebesar 7,06% dari suhu kamar 30 °C sampai dengan 110,1 °C yang mengindikasikan kandungan air dalam sampel sudah menguap. Tahap kedua terjadi pada suhu 110,1°C sampai dengan suhu 300 °C dengan penyusutan massa sebesar 17,14% C yang mengindikasikan pada suhu tersebut senyawa kompleks seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa sudah mulai terurai menjadi karbon<sup>[18]</sup>. Penguraian pada unsur hemiselulosa terjadi pada suhu

200 °C sampai 390 °C dan lignin pada suhu 160 °C sampai 900 °C<sup>[14]</sup>. Tahap ketiga terjadi lagi penurunan massa dari suhu 300 °C sampai pada suhu 552,8 °C sebesar 30,35%, hal ini mengindikasikan masih ada unsur selulosa atau lignin yang masih terurai pada suhu lebih dari 552,8 °C. Total massa yang hilang dari tiga tahap tersebut adalah sekitar 54,55%. Sampel yang tersisa adalah bahan karbon yang berasal dari kulit buah kakao.



**Gambar IV.9** Kurva DTG dan TG kulit buah kakao

Grafik DTG menampilkan data dalam bentuk garis menunjukkan adanya dua puncak yang terjadi, yaitu pada suhu 57,2 °C dan suhu 300,7 °C. Terbentuknya puncak pada kurva mengindikasikan terjadinya penyusutan massa dalam satuan waktu. Puncak pertama mengindikasikan kandungan air dalam sampel sudah mulai menguap. Puncak kedua terjadi penyusutan massa kulit buah kakao yang signifikan dengan laju 0,346 mg/min pada suhu 300,7 °C. Pada suhu ini perlu ditahan selama 1 jam pada proses karbonisasi, hal ini dimaksud agar karbon yang dihasilkan akan semakin baik sehingga dapat disimpulkan suhu 300,7 °C merupakan temperatur termal yang dihasilkan.



## IV. 2 Kapasitansi Superkapasitor Analisa *Cyclic Voltammetry* (CV)

Hasil pengukuran CV disajikan dalam kurva voltamogram dengan laju imbas 1 mV/s dan jendela potensial 0 - 500 mV. Kurva CV untuk perlakuan aktivasi CO<sub>2</sub> disajikan pada Gambar IV.10. Gambar IV.10 menunjukkan luas daerah yang terbentuk antara arus *charge* (I<sub>c</sub>) dan arus *discharge* (I<sub>d</sub>) yang mengindikasikan besar nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan elektroda karbon. I<sub>c</sub> merupakan arus yang terjadi pada saat proses pengisian muatan (*charge*) yang ditunjukkan oleh kurva bagian atas, sedangkan I<sub>d</sub> merupakan arus yang terbentuk pada saat proses pengosongan (*discharge*) yang ditunjukkan oleh kurva bagian bawah, semakin besar daerah kurva I<sub>c</sub>-I<sub>d</sub> yang terbentuk, maka nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon yang dihasilkan akan semakin besar<sup>[15]</sup>. Kurva I<sub>c</sub>-I<sub>d</sub> yang terbentuk mengindikasikan nilai kapasitansi spesifik paling tinggi diperoleh pada sampel elektroda karbon 0,4 M 700 °C, karena memiliki luas daerah kurva I<sub>c</sub>-I<sub>d</sub> yang paling besar, sedangkan sampel 0,3 M 900 °C diindikasikan memiliki nilai kapasitansi spesifik yang paling rendah, karena memiliki luas daerah kurva I<sub>c</sub>-I<sub>d</sub> yang paling kecil.

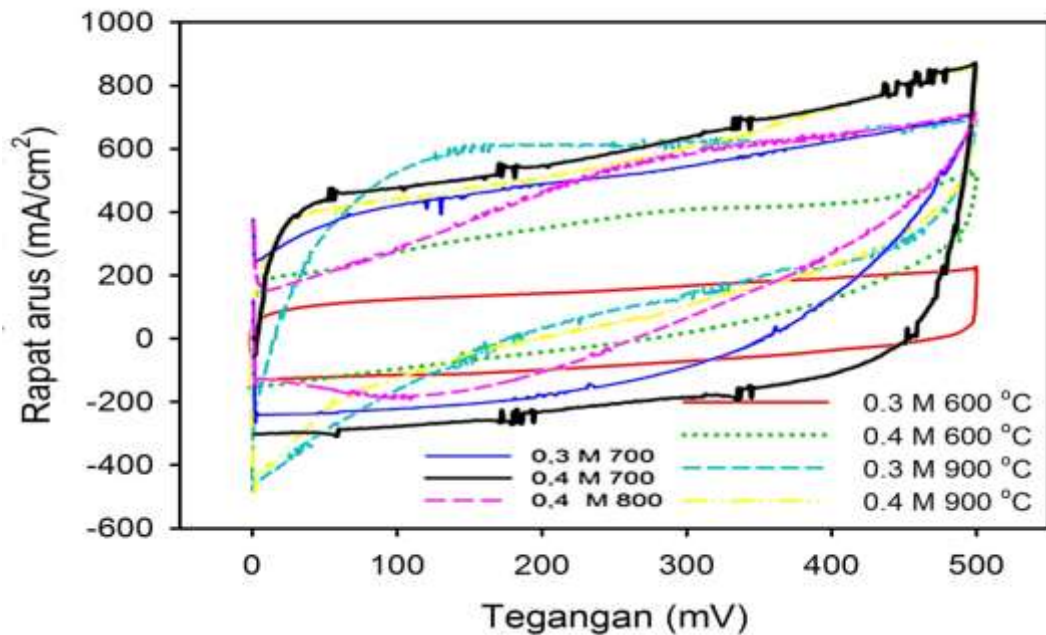
Sampel elektroda karbon 0,4 M 700 °C memiliki respon kapasitif yang lebih baik, hal ini ditandai dengan daerah potensial tengah yang lebih luas, proses *charge* yang lebih besar pada saat tegangan 0 V dan bentuk kurva *discharge* yang horizontal jika dibandingkan dengan sampel yang lain. Bentuk kedua kurva CV sampel 0,4 M 700 °C yaitu bentuk persegi, artinya bentuk yang paling ideal untuk elektroda karbon aktif<sup>[32]</sup>.

Gambar IV.10 menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi KOH dari 0,3 M menjadi 0,4 M dapat meningkatkan jumlah pori elektroda karbon, sehingga jumlah ion yang mengalir ke dalam elektroda semakin meningkat yang ditandai dengan lebarnya kurva *charge-discharge*.

Perubahan nilai kenaikan scan rate menghadirkan daerah potensial tengah yang sempit. Daerah potensial tengah terluas tercapai pada scan rate 1 mV/s, dimana proses pengisian muatan pada karbon aktif berlangsung perlahan sehingga jumlah muatan yang ditransfer dari elektrolit ke dalam pori elektroda lebih banyak.

Nilai kapasitansi spesifik ( $C_{sp}$ ) mengalami kenaikan dari konsentrasi KOH 0,3 M ke 0,4 M dengan suhu aktivasi 700 °C. Berdasarkan data hasil perhitungan menggunakan Persamaan (II.5) didapatkan nilai kapasitansi spesifik pada sampel elektroda karbon 0,3 M 700 °C dan 0,4 M 700 °C adalah 90,2 F/g dan 140,2 F/gr.

Gambar IV.10 juga menunjukkan bahwa peningkatan suhu aktivasi dari 700 °C menjadi 800°C dan 900 °C pada konsentrasi 0,4 M mengakibatkan menurunnya nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan elektroda karbon, hal ini ditandai dengan semakin mengecilnya kurva *charge-discharge*. Penambahan suhu aktivasi secara fisika dari 600 °C, 700 °C, 800 °C dan 900 °C mengakibatkan jumlah pori pada elektroda karbon meningkat namun elektroda karbon menjadi rapuh, sehingga nilai kapasitansi spesifiknya menurun<sup>[13]</sup>. Berdasarkan data hasil perhitungan menggunakan Persamaan (II.5) didapatkan nilai kapasitansi spesifik pada sampel elektroda karbon 0,4 M suhu 600 °C dan 0,4 M suhu 700 °C naik dari 22,93 F/gr ke 140,2 F/gr, namun pada sampel elektroda 0,4 M suhu 700 °C ke 0,4 M suhu 800 °C dan 0,4 M suhu 900 °C turun dari 140,2 F/gr ke 36,8 F/gr dan 30,55 F/gr. Nilai kapasitansi spesifik tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.5.

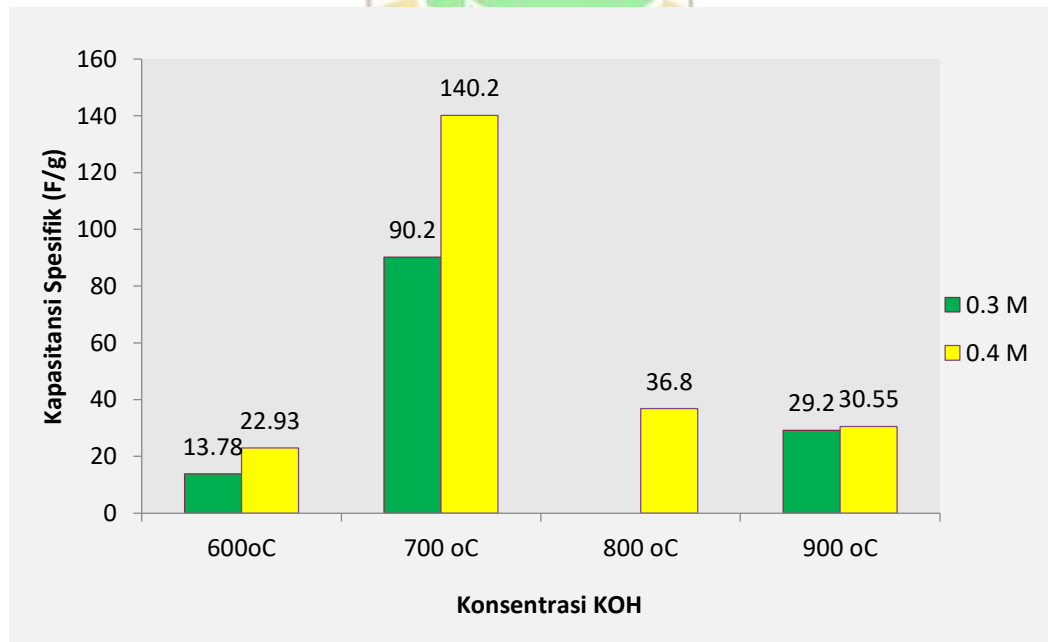


**Gambar IV.10** Kurva hubungan antara kapasitansi spesifik terhadap tegangan pada laju pemindaian 1 mV

**Tabel IV.5** Nilai kapasitansi spesifik berdasarkan variasi KOH dan suhu

Perlakuan	Elektroda	Massa	Massa	I <sub>c</sub>	I <sub>d</sub>	C <sub>sp</sub>
0,3 M 600 °C	C36-2	0,0170	0.0173	153	-86	13.78
	C36-3	0,0176				
0,4 M 600 °C	C46-4	0,0169	0.0167	378	-9	22.93
	C46-5	0,0164				
0,3 M 700 °C	C37-4	0,0135	0,0132	707	-483	90,2
	C37-5	0,0129				
0,4 M 700 °C	C47-2	0,0103	0,0112	993	-577	140,2
	C47-3	0,0121				
0,4 M 800 °C	C48-18	0,0167	0,0164	299	-303	36,8
	C48-21	0,0160				
0,3 M 900 °C	C39-8	0,0179	0,0178	608	90	29,2
	C39-10	0,0177				
0,4 M 900 °C	C49-12	0,0164	0,0163	551	52	30,55
	C49-14	0,0162				

Nilai kapasitansi spesifik dari hasil pengukuran tersebut juga bisa dapat dilihat pada Gambar IV.11.



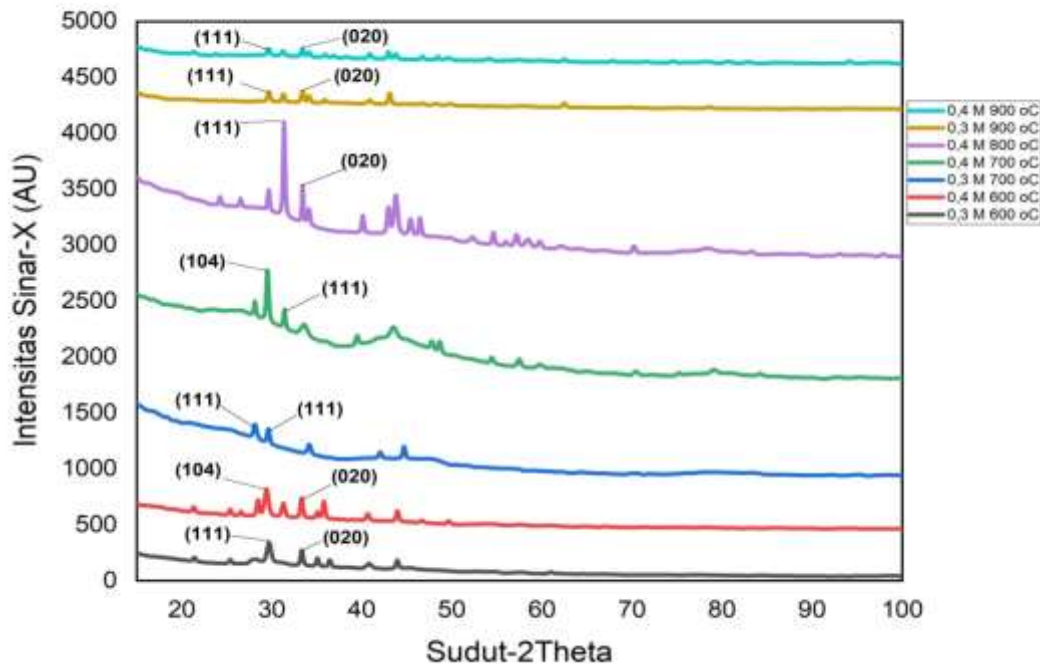
**Gambar IV.11** Diagram perbandingan nilai kapasitansi spesifik berdasarkan variasi aktivator KOH, pada suhu aktivasi 600 °C, 700 °C, 800 °C dan 900 °C

Merujuk kepada penelitian-penelitian sebelumnya, pada pembuatan elektroda superkapasitor dari bahan dasar bio massa, seperti kayu karet<sup>[14]</sup>,

tempurung kelapa<sup>[32]</sup>, ampas sagu<sup>[15]</sup>, kulit durian<sup>[13]</sup> dan batang pisang<sup>[14]</sup> menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor masing-masing secara berurutan yaitu: 54 F/g, 10 F/g, 132,09 F/g, 88,38 F/g dan 104,2 F/gr, maka hasil penelitian elektroda superkapasitor dengan bahan dasar kulit buah kakao mendapatkan nilai kapasitansi spesifik yang tinggi yaitu 140,2 F/g. Berarti kulit buah kakao sangat potensi sekali dijadikan sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor.

### IV.3 Analisa Difraksi Sinar-X (XRD)

Pola XRD karbon dari biomassa kulit buah kakao 0,3 M 600 °C, 0,3 M 700 °C, 0,3 M 900 °C , 0,4 M 600 °C , 0,4 M 700 °C, 0,4 M 800 °C dan 0,4 M 900 °C dapat dilihat pada Gambar IV.12. Gambar IV.12 merupakan grafik hubungan antara intensitas sinar-X terhadap sudut hamburan ( $2\theta$ ) pada kelima sampel karbon dari kulit buah kakao. Hasil fitting diperoleh data sudut hamburan, tinggi puncak dan lebar puncak. Secara lengkap hasil fitting dapat dilihat pada Lampiran 8.



**Gambar IV.12** Pola Difraksi Sinar-X

Grafik 0,4 M 800°C menunjukkan puncak kristal yang terlihat jelas sangat

tinggi dibandingkan dengan sampel yang lain, pada sudut difraksi Grafik 0,4 M 800°C menunjukkan puncak kristal pada sudut difraksi  $2\theta = 29,6227^\circ, 31,3361^\circ, 33,3963^\circ, 40,0749^\circ, 42,9188^\circ, 43,7373^\circ, 45,3606^\circ,$  dan  $46,4311^\circ$ . dengan tinggi puncak adalah 133,93, 604,30, 253,85, 114,86, 169,32, 243,13,102,42, dan 124,35, lalu diikuti dengan sampel 0,4 M 700°C. Berdasarkan grafik xrd kelima sampel dapat diindikasikan adanya material karbon dan fasa yang terbentuk adalah struktur kristal grafit<sup>[36]</sup>.

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ada dua puncak yang lebar dengan sudut  $2\theta$  pada rentang 25 sampai 35 yang berkaitan dengan bidang difraksi (002) dan (100). Penentuan sudut  $2\theta$  untuk masing-masing puncak dilakukan dengan *Ware Mocrocal Origin*. Data difitting dengan bantuan fungsi distribusi Lorentzian. Hasil fitting diperoleh data sudut hamburan, tinggi puncak dan lebar puncak. Secara lengkap hasil fitting dapat dilihat pada Lampiran 8.

Nilai jarak antar bidang  $d_{hkl}$ ,  $a$ , dan indeks miller sampel ditampilkan pada Tabel IV.6.

**Tabel IV.6** Hasil fitting data difraksi sinar-X elektroda kulit buah kakao

Kode sampel	$2\theta$	$\theta$	$h$	$k$	$l$	$d$	$a$
						(Å)	nm
600 °C 0,3 M	29.6639	14.83195	1	1	1	3.01165	5.2163308
	33.2937	16.64685	0	2	0	2.69115	5.3823
600 °C 0,4 M	29.391	14.6955	1	0	4	3.03899	12.530077
	33.284	16.642	0	2	0	2.69186	5.38372
700 °C 0,3 M	28.1233	14.06165	1	1	1	3.17302	5.4958319
	29.5897	14.79485	1	1	1	3.01903	5.2291133
700 °C 0,4 M	29.4921	14.74605	1	0	4	3.0263	12.477755
	31.3901	15.69505	1	1	1	2.8521	4.9399821
800 °C 0,4 M	31.3361	15.68745	1	1	1	2.85121	4.9384406
	33.5785	16.78925	0	2	0	2.66897	5.33794
900 °C 0,3 M	29.6431	14.82155	1	1	1	3.0112	5.2155514
	33.3807	16.69035	0	2	0	2.68433	5.36866
900 °C 0,4 M	29.607	14.8035	1	1	1	3.01731	5.2261342
	33.3705	16.68525	0	2	0	2.68513	5.37026

Perbedaan struktur elektroda 0,3 M 600 °C dan 0,4 M 600 °C dapat diamati dari data tinggi puncak difraktogram XRD yaitu 122,51 nm dan 165,05

nm, dan struktur elektroda 0,3 M 700 °C dan 0,4 M 700 °C dapat diamati dari data tinggi puncak difraktogram XRD yaitu 91,98 nm untuk sampel 0,3 M 700 °C, untuk sampel 0,4 M 700 °C sebesar 320,64 nm, untuk sampel 0,4 M 800 °C sebesar 604,30 nm, dilanjutkan untuk sampel 0,3 M 900 °C memiliki tinggi puncak sebesar 60,27 nm dan 40,79 nm untuk sampel 0,4 M 900 °C. Dari semua sampel tersebut didapatkan sampel yang memiliki tinggi puncak paling tinggi yaitu sampel 0,4 M 800 °C sebesar 604,30 nm. Pergeseran tinggi puncak dan lebar setengah tinggi puncak menunjukkan terjadinya penyusunan kembali atom-atom karbon.

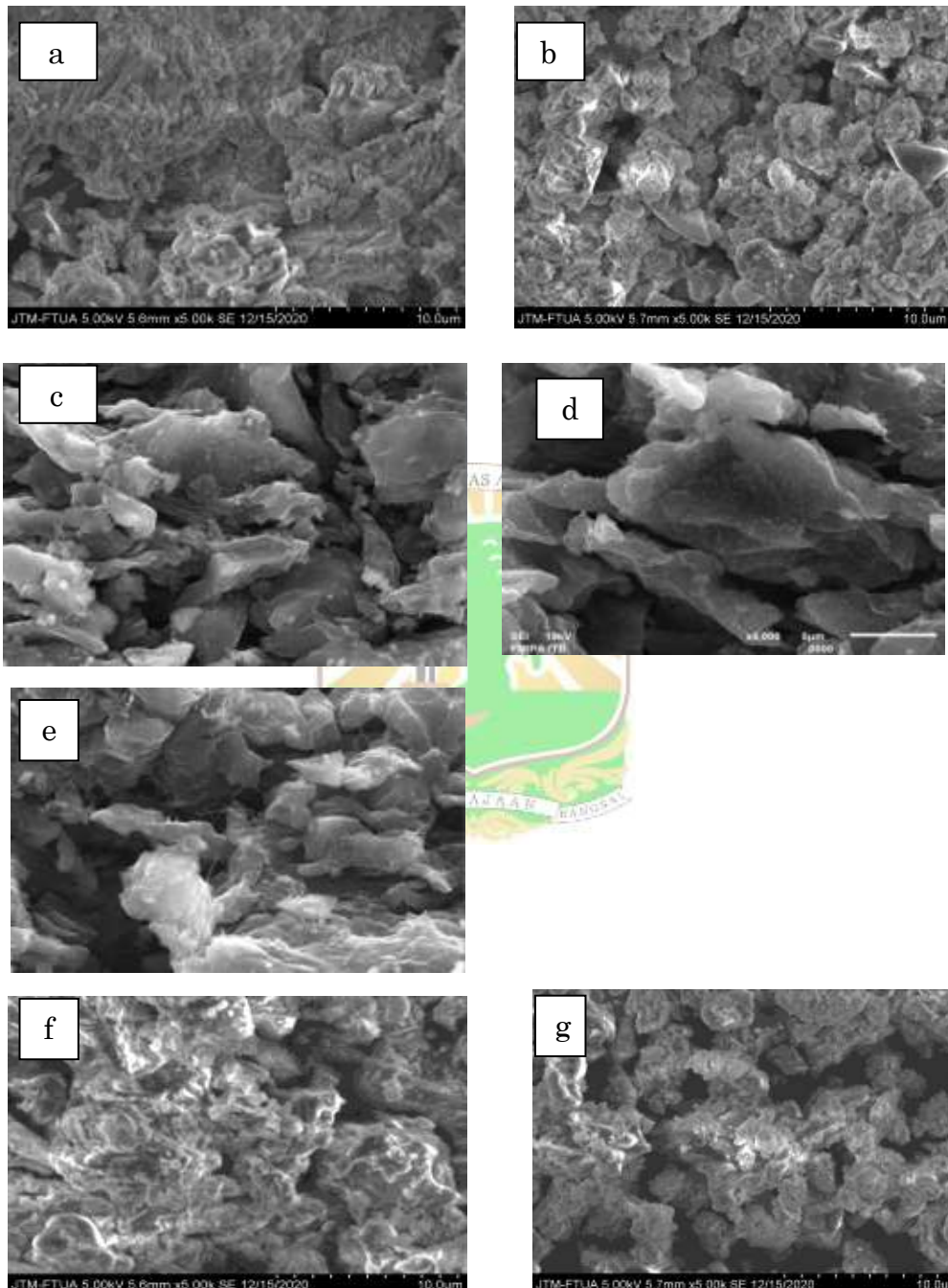
Bilangan rasio terbesar diperoleh pada sampel elektroda 0,3 M 700 °C dan terkecil pada sampel elektroda 0,4 M 700 °C. Sampel elektroda 0,4 M 800 °C memiliki nilai bilangan rasio diantara keduanya. Variasi konsentrasi KOH pada aktivasi kimia menunjukkan perbedaan jumlah timbunan kisi yang signifikan. Variasi suhu aktivasi menghasilkan jumlah (timbunan) kisi yang tidak berbeda jauh.

#### **IV.4 Morfologi Karbon Aktif (SEM)**

Pengujian sampel dilakukan dengan perbesaran 5000 kali, dapat dilihat dari Gambar IV.13. Gambar IV.13.a menunjukkan hasil SEM elektroda karbon 0,3 M suhu 600 °C dengan perbesaran 5000 kali. Morfologi permukaan karbon aktif menunjukkan sudah adanya pori. Pori-pori antara partikel tersebar belum merata pada permukaan sampel, bentuknya tidak beraturan. Pada permukaan sampel masih terdapat partikel-partikel kecil yang mengindikasikan masih adanya keberadaan bahan selain karbon pada sampel 0,3 M 600 °C atau partikel bebas yang tidak menguap sempurna pada saat dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi.

Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M suhu 600 °C ditunjukkan oleh Gambar IV.13.b. Perbesaran 5000 kali yang terlihat memiliki pori-pori antar partikel lebih besar dibandingkan sampel elektroda karbon 0,3 M suhu 600 °C, berukuran tidak merata dan berbentuk tidak beraturan. Terdapat bongkahan-bongkahan pada permukaan elektroda karbon yang menunjukkan struktur sampel elektroda

yang lebih padat, terlihat partikel-partikel yang terbentuk lebih jelas dan antar partikel tersebut berbentuk pori yang cukup besar dengan ukuran yang tidak merata.



**Gambar IV.13.** Hasil SEM elektroda karbon (a) 0,3 M suhu 600 °C, (b) 0,4 M 600 °C, (c) 0,3 M suhu 700 °C, (d) 0,4 M suhu 700 °C, (e) 0,4 M suhu 800 °C, (f) 0,3 M suhu 900 °C, dan (g) 0,4 M suhu 900 °C (Perbesaran 5000 kali)

Gambar IV.13.c menunjukkan hasil SEM elektroda karbon 0,3 M suhu 700 °C dengan perbesaran 5000 kali. Morfologi permukaan karbon aktif menunjukkan sudah adanya pori. Pori-pori antara partikel tersebar hampir merata pada permukaan sampel, bentuknya ada yang memanjang dan tidak beraturan. Pada permukaan sampel masih terdapat partikel-partikel kecil yang mengindikasikan masih adanya keberadaan bahan selain karbon pada sampel 0,3 M 700 °C atau partikel bebas yang tidak menguap sempurna pada saat dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Partikel-partikel yang terbentuk terlihat lebih jelas dan antar partikel tersebut terdapat pori yang tersebar merata dengan berbagai bentuk dan ukuran dibandingkan dengan sampel 0,3 M 600 °C dan 0,4 M 600 °C

Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M suhu 700 °C ditunjukkan oleh Gambar IV.13.d Perbesaran 5000 kali yang terlihat memiliki pori-pori antar partikel lebih besar dibandingkan sampel elektroda karbon 0,3 M suhu 600 °C, 0,4 M suhu 600 °C, dan 0,3 M suhu 700 °C, dan berukuran tidak merata serta berbentuk tidak beraturan. Terdapat bongkahan-bongkahan pada permukaan elektroda karbon yang menunjukkan struktur sampel elektroda yang lebih padat, terlihat partikel-partikel yang terbentuk lebih jelas dan antar partikel tersebut berbentuk pori yang cukup besar dengan ukuran yang tidak merata.

Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M suhu 800 °C ditunjukkan oleh Gambar IV.13.e. Perbesaran 5000 kali yang terlihat memiliki pori-pori antar partikel lebih besar dibandingkan sampel elektroda karbon 0,3 M dan 0,4 M suhu 600 °C, 0,3 M dan 0,4 M suhu 700 °C, dan 0,3 M dan 0,4 M suhu 900 °C . Morfologi yang dihasilkan menampilkan permukaan dengan pengaturan lebih padat partikel karbon dan bentuk tidak beraturan.

Hasil SEM elektroda karbon 0,3 M suhu 900 °C ditunjukkan oleh Gambar IV.13.f. Morfologi yang dihasilkan menampilkan permukaan dengan partikel karbon dan bentuk yang lebih tidak beraturan dan mengindikasikan nilai karbonnya sangat kecil. Hasil SEM elektroda karbon 0,4 M suhu 900 °C dengan perbesaran 5000 kali ditunjukkan oleh Gambar IV.13.g. Partikel-partikel yang terbentuk terlihat lebih jelas dan antar partikel tersebut terdapat pori yang tidak



merata. Penambahan suhu aktivasi ini menyebabkan reaksi penguapan air karbon lebih banyak dan akan meningkatkan jumlah serta ukuran pori. Hal ini yang menyebabkan kerusakan pada partikel, sehingga partikel rapuh<sup>[13]</sup>.

Semua sampel hasil SEM di atas menunjukkan bentuk pori yang cukup besar, tidak beraturan dan ukurannya tidak merata. Berbeda dengan penelitian sebelumnya pada elektroda karbon dari kulit durian<sup>[13]</sup>, diperoleh morfologi permukaan gambar dengan perbesaran sama, untuk sampel elektroda dengan variasi waktu aktivasi fisika, seperti pada Gambar IV.13.d dan IV.13.e.

Gambar IV.13.d menunjukkan partikel karbon yang relatif padat dan tidak teratur bentuknya memanjang, sementara pori antar partikel sudah banyak terbentuk. Gambar IV.13.e menunjukkan morfologi permukaan dengan pengaturan partikel karbon yang lebih padat dan bentuknya tidak beraturan. Perbedaan kedua gambar adalah adanya partikel kecil yang menutupi pori-pori antara partikel sehingga pori-pori antara partikel berkurang. Pori-pori yang tertutup menyebabkan kepadatan elektroda karbon meningkat, sehingga kapasitas spesifik kecil.<sup>[13]</sup>

**Tabel IV.7** Jarak dan ukuran partikel sampel hasil SEM

No	Sampel	r ( $\mu\text{m}$ )	Xc
1	600 °C 0.3M 5000X	0,9718	73
2	600 °C 0.4M 5000X	0,98135	60
3	700 °C 0.3M 5000X	0,78818	53.3565
4	700 °C 0.4M 5000X	0,84043	24.7726
5	800 °C 0.4M 5000X	0,44444	34.1113
6	900 °C 0.3M 5000X	0,78819	53.3566
7	900 °C 0.4M 5000X	0.8445	50

Tabel IV.7 memberikan informasi bahwa jarak dan ukuran sampel elektroda karbon 600 °C 0.4 M memiliki nilai paling tinggi dibandingkan sampel yang lain. Secara lengkap hasil fitting dapat dilihat pada Lampiran 7.

#### **IV.5 Analisa Komposisi Kimia Karbon Aktif**

Hasil EDX menunjukkan tingkat kemurnian unsur karbon dalam sampel elektroda karbon kulit buah kakao serta unsur-unsur lainnya yang terdapat

didalamnya. Persentase kandungan unsur yang terdapat dalam sampel elektroda karbon dapat dilihat pada Tabel IV.8

**Tabel IV.8** Kandungan senyawa pada sampel elektroda karbon suhu 700 °C dan 800 °C.

Kandungan	C37		C47		C48	
	Massa %	Atom %	Massa %	Atom %	Massa%	Atom %
C	87.05	91.02	87.87	91.49	91.33	94.05
O	10.12	7.95	9.65	7.54	6.75	5.22
Mg	0.75	0.39	0.94	0.48	0.68	0.35
Ca	2.07	0,65	1.55	0.48	1.23	0.38
Total	100%					

Tabel IV.8 memberikan informasi bahwa unsur yang terkandung dalam sampel elektroda karbon didominasi oleh unsur karbon (C) dengan persentase massa di atas 87% dan persentase atom diatas 91%. Tingginya kandungan C ini mengindikasikan sampel elektroda karbon mempunyai kemurnian yang sangat tinggi. Unsur-unsur selain C juga terdapat dalam sampel elektroda karbon, seperti oksigen (O), magnesium (Mg) dan Kalsium (Ca). Unsur O memiliki persentase tertinggi kedua setelah unsur C, penyebabnya diindikasikan oleh pada saat karbonisasi kandungan oksigen pada sampel karbon tidak terurai sempurna atau terjadinya ikatan pada proses aktivasi<sup>[8]</sup>. Unsur Mg dan Ca teridentifikasi dengan persentase massa dibawah 2,1% dan persentase atom di bawah 0,66% . Kandungan Ca pada elektroda karbon disebabkan oleh kandungan kimia pada kulit buah kakao salah satunya adalah Ca<sup>[15]</sup>. Unsur Mg diindikasikan berasal dari bola-bola baja yang kurang bersih pada saat *ball milling* dan keberadaan unsur K disebabkan pada saat aktivasi kimia senyawa ini tidak terurai secara sempurna<sup>[15]</sup>.

Tabel IV.8 juga menunjukkan bahwa karbon aktif juga mengandung unsur-unsur lain seperti oksigen yang secara kimia terikat dengan unsur karbon, hal ini disebabkan karena kandungan oksigen ditinggalkan oleh ketidaksempurnaan karbonisasi atau juga dapat terjadi ikatan pada proses aktivasi<sup>[13]</sup>.

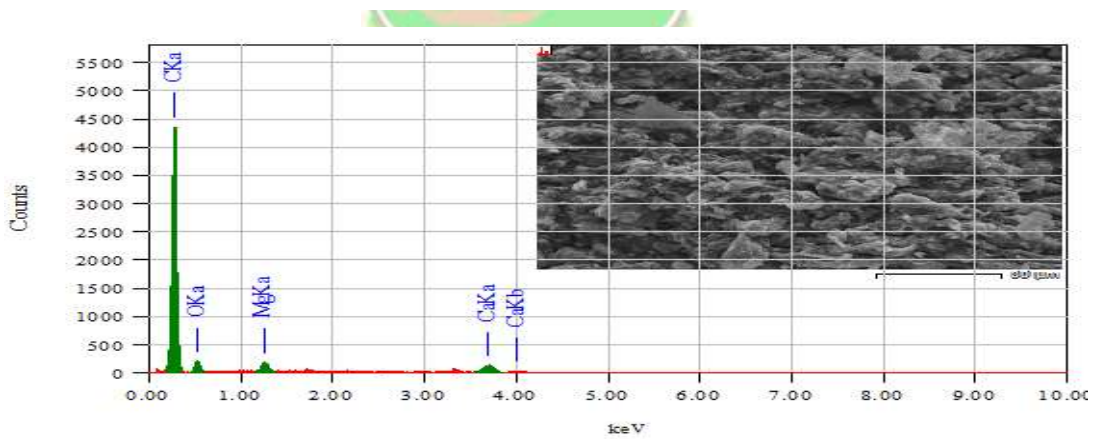
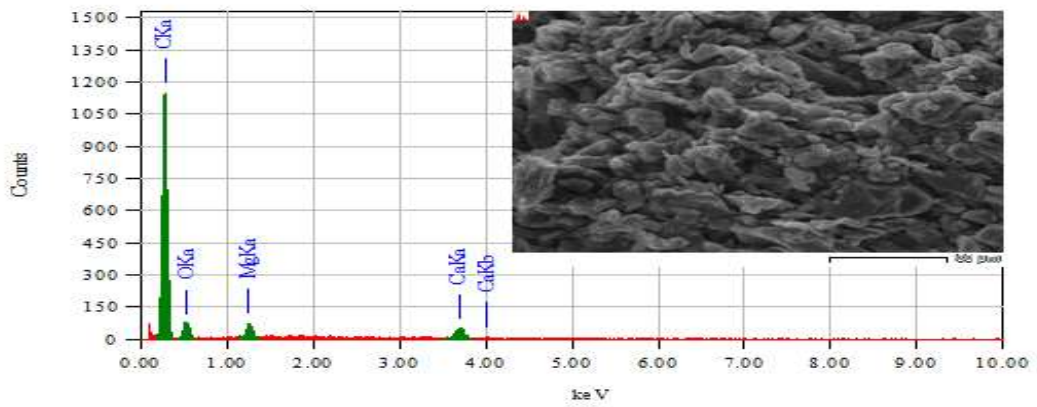
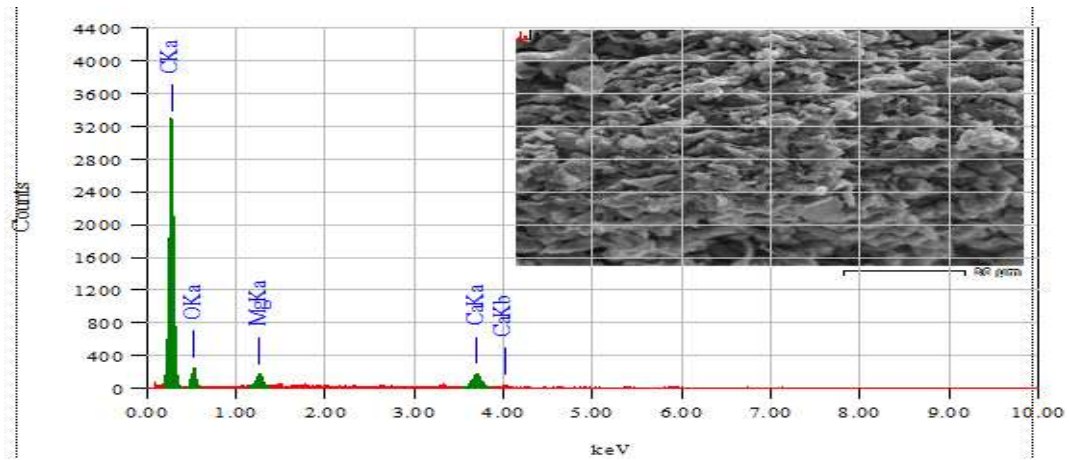
Hasil XRF pada sampel 600 °C 0,4 M dan 900 °C 0,4 M menunjukkan tingkat selain unsur karbon dalam sampel elektroda karbon kulit buah kakao serta

unsur-unsur lainnya yang terdapat didalamnya. Persentase kandungan unsur yang terdapat dalam sampel elektroda karbon dapat dilihat pada Tabel IV.9

**Tabel IV.9** Kandungan senyawa pada sampel elektroda karbon suhu 600 °C dan 900 °C..

600 °C 0,4 M		900 °C 0,4 M	
Elemen		Elemen	
senyawa	konsentrasi (%)	senyawa	konsentrasi (%)
Na	0	Na	0
Mg	4.872	Mg	3.783
Al	0.809	Al	1.456
Si	1.223	Si	1.364
P	2.03	P	2.006
S	1.01	S	0.43
Cl	0.108	Cl	0.133
K	61.828	K	56.436
Ca	24.647	Ca	30.845
Ti	0.044	Ti	0.091
Cr	0.027	Cr	0.004
Mn	1.056	Mn	1.233
Fe	0.411	Fe	0.516
Ni	0.014	Ni	0.011
Cu	0.062	Cu	0.09
Zn	0.457	Zn	0.039
Rb	0.155	Rb	0.26
Sr	0.046	Sr	0.068
Y	0	Y	0
Ag	1.135	Zr	0.007
Ba	0.065	Ag	1.154
Ce	0	Ba	0.072
		Ce	0
		Re	0.001

Tabel IV.9 memberikan informasi bahwa unsur yang terkandung dalam sampel elektroda karbon memiliki unsur (K) dan (Ca) yang tinggi dengan persentase konsentrasi (K) 61,828% dan (Ca) 24.647% untuk sampel 600 °C 0,4 M begitu juga dengan sampel 900 °C 0,4 M memiliki konsentrasi (K) 56.436% dan (Ca) 30.84%.



ambar IV.14.a, b, c Hasil energi dispersif sinar-X sampel karbon 0,3 M suhu 700 °C,  
0,4 M suhu 700 °C, 0,4 M suhu 800 °C

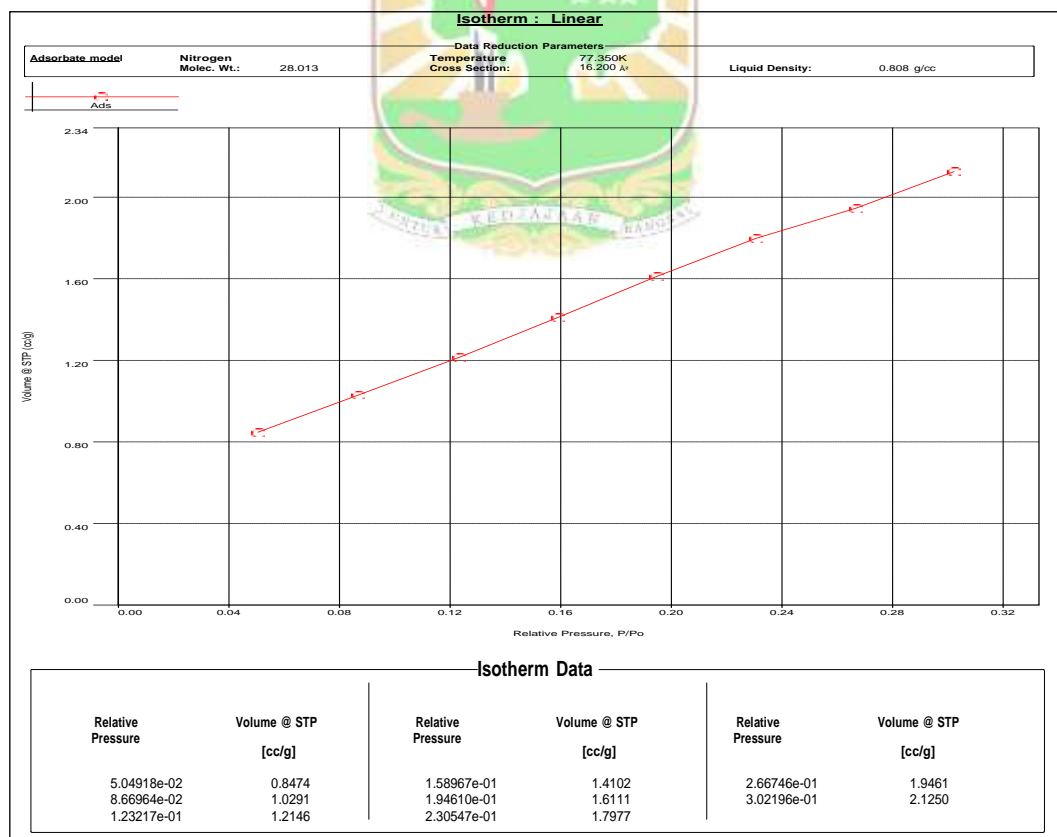
Kuantitas unsur C pada sampel elektroda karbon 0,4 M suhu 700 °C lebih besar dari pada sampel elektroda karbon 0,3 M suhu 700 °C. Konsentrasi KOH

0,4 M menunjukkan karbon yang lebih banyak dibandingkan dengan konsentrasi KOH 0,3 M. Penambahan konsentrasi aktivator KOH dari 0,3 M ke 0,4 M mengakibatkan kandungan selain karbon akan lebih banyak terurai, sehingga unsur C yang dihasilkan semakin tinggi.

Kuantitas unsur C pada sampel elektroda karbon 0,4 M suhu 800 °C lebih besar dari pada sampel elektroda karbon 0,4 M suhu 700 °C. Hal ini menunjukkan aktivasi fisika pada suhu 800 °C menghasilkan karbon yang lebih baik dibanding dengan pembakaran dengan suhu 700 °C. Suhu aktivasi 800 °C mengakibatkan kandungan selain karbon akan lebih banyak terurai, sehingga unsur C yang dihasilkan semakin tinggi.

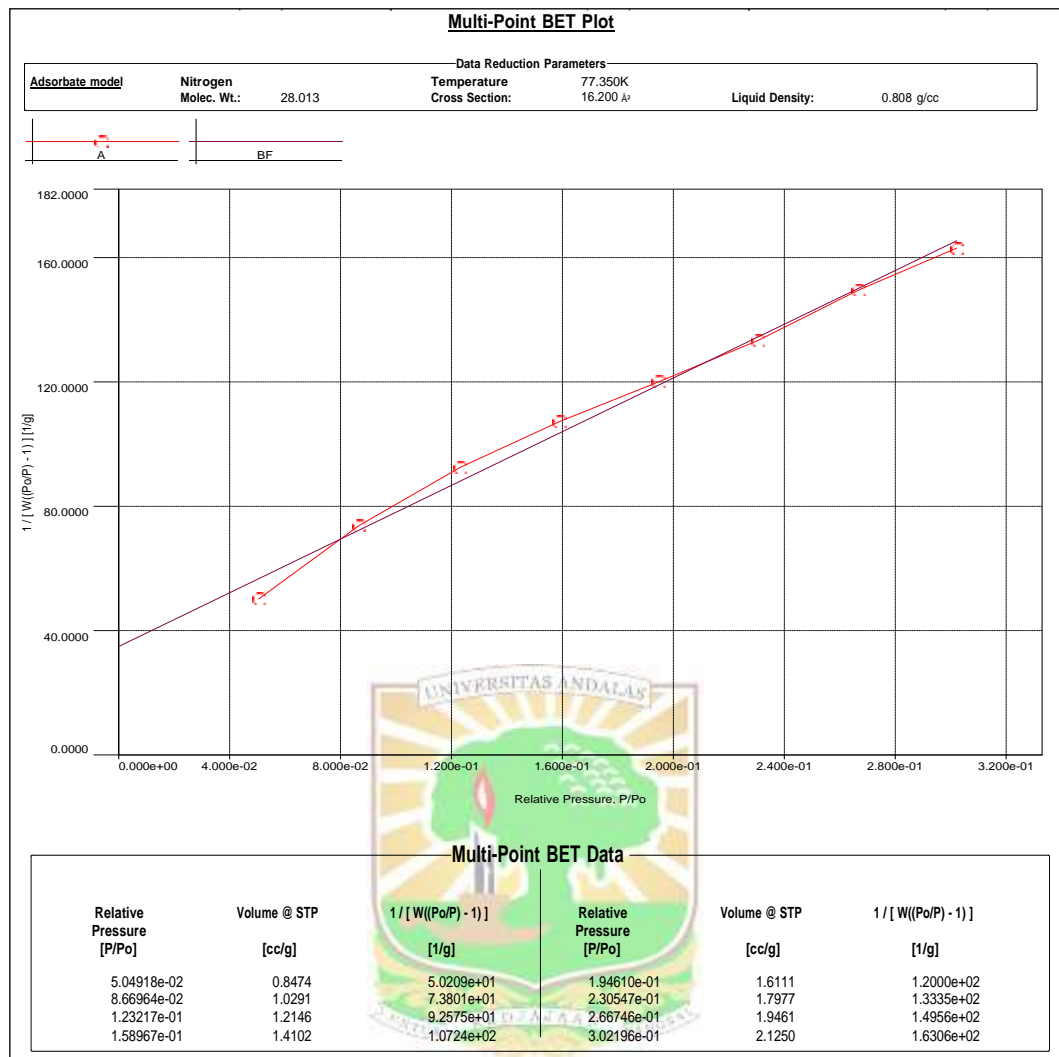
#### IV.6 Analisa Surface Area (BET)

Hasil BET menunjukkan grafik dan tabel data isotherm, grafik dan tabel data Multiple BET plot, grafik dan tabel data pore diameter dan luas *specific surface area* sampel pada suhu 700 °C.



**Gambar IV.15** Grafik dan tabel data isotherm elektroda karbon 0,4 M suhu 700°C





**Gambar IV.16** Grafik dan tabel data Multiple BET elektroda karbon 0,4 M suhu 700°C.

**Tabel IV.10** Luas *specific area* sampel 0,4 M suhu 700 °C

Slope	Intercept	Correlation Coefficient r	Contant	Surface Area
431.872 1/g	3.492e+01	0.995779	13.367	7.461 m <sup>2</sup> /g

Tabel IV.9 memberikan informasi bahwa pada sampel 0,4 M suhu 700 °C memiliki surface area yang cukup bagus yaitu 7.461 m<sup>2</sup>/g.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan

1. Kulit buah kakao sebagai bahan biomassa untuk pembuatan elektroda karbon sel superkapasitor telah berhasil dilakukan.
2. Persentase susut massa, diameter, ketebalan dan densitas dipengaruhi oleh aktivator KOH dan suhu aktivasi, semakin tinggi suhu maka semakin besar persentase susut.
3. Karakterisasi SEM menunjukkan telah terbentuknya celah-celah kecil antara partikel pada permukaan elektroda karbon kulit buah kakao (C). Celah-celah tersebut sangat dominan yaitu mencapai 94,05 % atom C pada sampel C 0,4 M suhu 800°C yang ditunjukkan oleh karakterisasi EDX. Analisa SEM-EDX menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan CO<sub>2</sub> pada suhu 800°C dapat meningkatkan kemurnian karbon pada sampel.
4. Pengukuran XRD diperoleh nilai  $2\theta$  berkisar 25°-35° dan 42°-44° untuk bidang refleksi 002 dan 100 rentang yang wajar untuk material karbon. Puncak yang landai dengan sudut  $2\theta$  berada pada rentang 30°-35° dan 42°-44° yang ditunjukkan oleh kurva hasil karakterisasi XRD mengindikasikan bahwa elektroda karbon mempunyai struktur amorf.
5. Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan untuk aktivasi kimia KOH 0,4 M 700°C yaitu 140,2 F/g lebih besar dari pada 0.3 M 700°C yaitu 90,2 F/g. Sedangkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan untuk aktivasi fisika 700°C lebih besar dibandingkan 800°C yaitu 36,8 F/g dengan aktivasi kimia 0.4 M.



## V.2 Saran

Demi kesempurnaan penelitian tentang sintesis karbon aktif dari kulit buah kakao untuk aplikasi elektroda superkapasitor, perlu dilakukan penambahan variasi aktivasi baik fisika maupun kimia yang lebih banyak.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Sartini, M., Djide, N., dan Duma, N., 2012, Pemanfaatan Kulit Buah Kakao sebagai Sumber Bahan Aktif Untuk Sediaan Farmasi, *Jurnal Industri Hasil Perkebunan* Vol 7, No.2, hal 67 – 73.
2. Boyea, J.M., Camacho, R.E., Turano, S. P., And Ready, W. J., (2007). Carbon Nanotube-Based Supercapacitors : *Technologies and Markets, Nanotechnology Law & Business*; hal 585 -593.
3. Nian-ping Liu, Jun Shen, Da-Yong Guan, et all (2013), Effect Of Carbon Aerogel Activation On Electrode Lithium Insertion Performance. *Acta Phys.-Chim* Vol 29, No.5, hal 966-972.
4. Memori, R. Fery, I. Mikrajuddin, A. Khairurrijal. (2013) Synthesis and Characterization of Supercapacitor Using Nano-sized ZnO/Nanoporous Carbon Electrodes and PVA-based Polymer-Hydrogel Electrolytes. *Materials Science Forum* Vol 737, hal 191-196.
5. Ferreira, C.S, Passos, R.R. Pocrifka, L.A. (2014). Synthesis and Properties of Ternary Mixture of Nikel/Cobalt/Tin Oxides for Supercapacitor. *Power Sources*, Vol 271,hal 104-107.
6. Memori, R. Fery, I. Mikrajuddin, A. Khairurrijal. (2014). Hydrogel-Polymer Electrolytes Based on Polyvinyl Alcohol and Hydroxyethylcellulose for Supercapacitor Applications. *Electrochemical Science*, Vol 9, hal 4251-4256.
7. Olly, N.T, Hermansyah, A, Emriadi, et all. (2018). The Effect Of Addition Of Activated Carbons From Peaton Performance Of Superkapasitor ]Base Of Activated Carbon Of Palm Kernel Shell. *Jurnal Zarah* Vol 6, No.2, hal 47-52.
8. Yusriwandi, Taer, E., Farma, R., Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Aktif Dengan Karbonisasi Dan Aktivasi Bertingkat Menggunakan Gas CO<sub>2</sub> dan Uap Air, *Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru Kampus Binawidya Jurnal Ilmiah Edu Research* Vol 6, No 1
9. Frackowiak, E. (2006). Supercapacitors Based on Carbon Materials and Ionic Liquids. *J. Braz. Chem. Soc*, Vol 17, No.6, hal 1074-1082.

10. Taer, E., Yusra, H., Iwantono, Taslim, R., 2016, Analisa Dimensi, Densitas Dan Kapasitansi Spesifik Elektroda Karbon Superkapasitor Dari Bunga Rumpun Gajah Dengan Variasi Konsentrasi Pengaktifan KOH, *Jurusan Fisika Universitas Riau, Pekanbaru 28293 Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Pekanbaru 28293 Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya* Vol 1, No.1.
11. Taer, E., Deraman, M., Taslim, R., Iwantono, 2013, Preparation of binderless activated carbon monolith from pre-carbonization rubber wood sawdust by controlling of carbonization and activation condition, in the 4th Nanoscience and Nanotechnology Symposium (NNS)- *AIP Conference Proceedings 1554*, Melville, NY. pp. 33-37.
12. Muchammadsam, I. D., Taer, E., Farma, R., 2015, Pembuatan dan Karakterisasi Karbon aktif Monolit dari Kayu Karet dengan variasi Konsentrasi KOH untuk Aplikasi Superkapasitor, *JOM (Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam)*, Vol 2, No. 1. Pekanbaru.
13. Taer, E., Dewi, P., Sugianto, Syech, R., Taslim, R., Salomo, Susanti, Y., Purnama, A., Apriwandi, Agustino, and Setiadi, R.N., 2018, The synthesis of carbon electrode supercapacitor from durian shell based on variations in the activation time, Citation: *AIP Conference Proceedings 1927*, 030026 (2018); doi: 10.1063/1.5021219
14. Taer, E., Susanti, Y., Awitdrus, Sugianto, Taslim, R., Setiadi, R.N., Bahri, S., Agustino, Dewi, P., and Kurniasih, B., 2018, The effect of CO<sub>2</sub> activation temperature on the physical and electrochemical properties of activated carbon monolith from banana stem waste, Citation: *AIP Conference Proceedings 1927*, 030016 (2018); doi: 10.1063/1.5021209.
15. Afrianda, A., 2018, Pembuatan dan Karakterisasi Elektroda Karbon Sel superkapasitor dari Bahan Ampas Sagu Menggunakan Aktivasi H<sub>2</sub>O Berdasarkan Variasi Waktu Aktivasi, *Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau, Pekanbaru*.
16. Wijaya, M.M., dan Wiharto, M., 2017, Karakterisasi Kulit buah kakao untuk karbon aktif dan bahan Kimia yang ramah Lingkungan, *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, Vol 2, No 1, April 2017, Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Sebelas Maret.
17. Mursida, 2019, Sintesis Karbon Aktif Dari Kulit Buah Kakao Untuk Aplikasi Elektroda Superkapasitor, *Tesis, Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, Padang*.

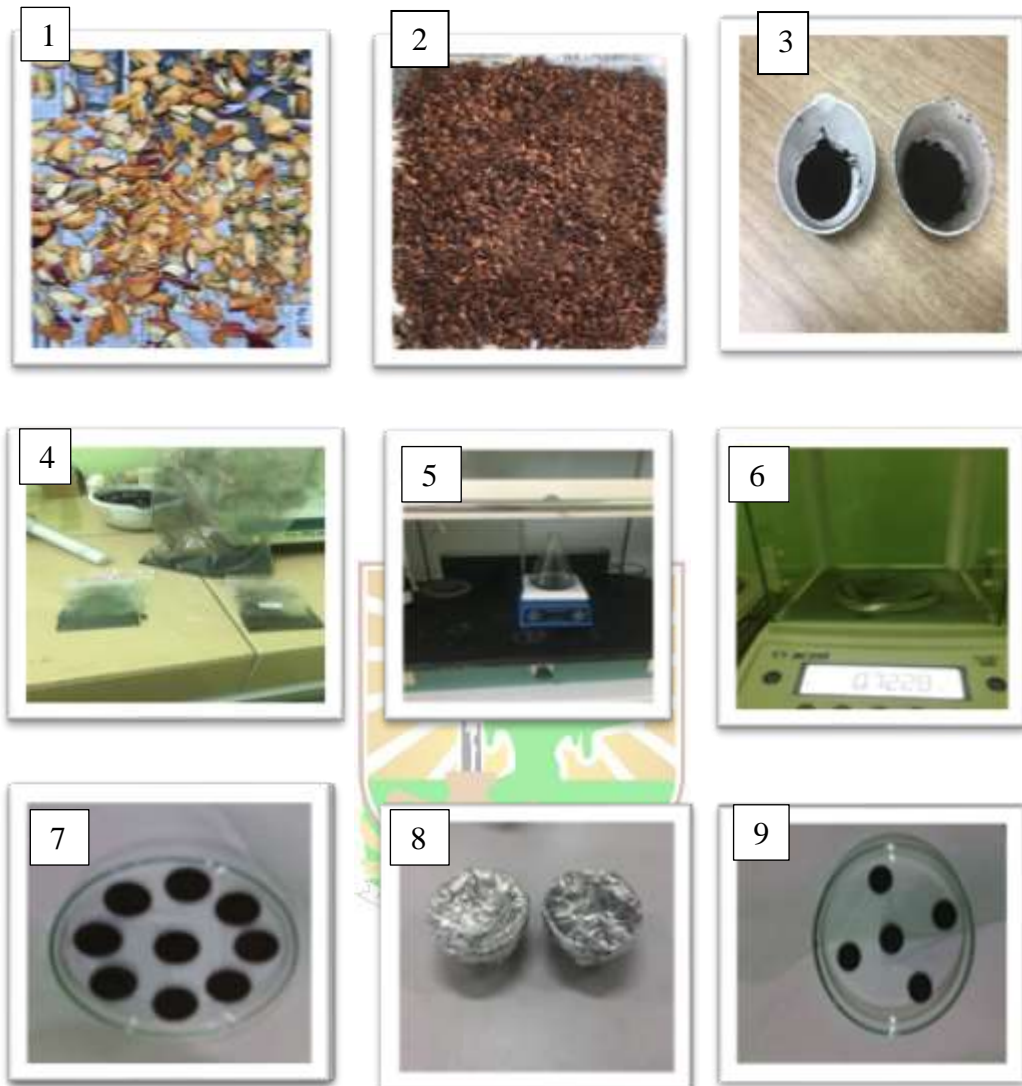
18. Yetri, Y., Emriadi, Jamarun N., Gunawarman, 2016, Corrosion inhibition efficiency mild steel in acid media with inhibitor pels extract of cacao (*Theobroma cacao*), *Jurnal Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, vol. 7, hal 67–80.
19. Yetri, Y., dan Sukatik, 2017, Green Inhibitor for Mild Steel in Acidic Solution by Using Crude Extract and Polar Extract of *Theobroma cacao* Peel, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol 7, No.5, hal 1083-1094.
20. Taer E., Mustika WS., dan Taslim R., 2016, Prosiding Seminar Nasional Fisika-SNF V, mps-49 – mps-54.
21. Dahlan, D., Tissos, N. P., Yetri, Y., 2017, Ekstrak Kulit Buah Kakao Sebagai Aditif Pada Sintesis Lapisan Kuprum (Cu), 2017, *Proceeding SEMIRATA MIPAnet 2017*, tanggal 24-26 Agustus 2017, UNSRAT, Manado, hal. 363–368.
22. Cruz, G., Pirila, M., Huuhtanen, M., Carrion, L., Alverengga, E., dan Keisi, R.L., 2012, *Production of Activated Carbon from Cocoa (Theobroma cacao Pod Husk National University of Tumbes, Department of Forestry Engineering and Environmental Management, Environmental Analysis Laboratory, Av. Universitaria s/n Campus Universitario - Universidad Nacional de Tumbes, Conference Proceedings 1554, Peru Finland*
23. Karim, A. A., Azlan, A., Ismail, A., Hashim, P., Abdullah, A.N., 2014, Antioxidant Properties of Cocoa Pods and Shell, *Malaysia Cocoa Journal*, Vol 8, hal 49 – 56.
24. Kouame, B., Marcel, G., Andre, K.B., Theodore, D., Serapin, C.K., 2011, Waste and by products of cocoa in breeding, *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)* vol 1, No.1, hal 9-19.
25. Purnamawati, H., Utami, B., 2014, *Pemanfaatan Kulit Buah kakao (Theobroma cacao L), sebagai adsorben zat warna Rhodamin B*, Pendidikan Kimia, PMIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
26. Nur Hamzah, B, 2015, *Energy and Power of Supercapacitor Using Carbon Electrode Deposited with Nanoparticles Nickel Oxide*, School of Applied Physics, Faculty of Science and Technology, National University of Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

27. Baroroh, A., Anita, D.M., and Ellyke, 2017, *Usage of cacao Shell Cellulose as Ni Adsorbent in Electrop;ating's Waste Water*, Bagian Kesehatan Lingkungan dan Kesehatan Keselamatan Kerja, Fakultas kesehatan Masyarakat, universitas Jember.
28. Brebu, M., Vasile, C., 2010, *Thermal Degradation of Lignin – A Review*, Cellulose Chem. Technol.
29. Tejada, C. N., Almanza, D., Villabona, M., Colpas, F., Granados, C., 2017, *Characterization of activated carbon synthesized at low temperature from cocoa shell (Theobroma cacao) for adsorbing amoxicillin*, de la Universidad de Cartagena, Colombia.
30. Daud, Z., 2016, Chemical Composition and Morphological of Cocoa Pod Husks and Cassava Peels for Pulp and Paper, *Production Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Journal of Electrical Engineering*, Vol 4, hal 75-87.
31. Jian, X., dkk, 2009, *Carbon-Based Electrode Materials for Supercapacitor Progress, Challenges and Prospective Solutions Center of Micro-nano Functional Materials and Devices*, School of Energy Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China.
32. Dahlan, D., Sartika, N., Astuti, Namigo, E.L., and Taer, E., 2015, Effect of TiO<sub>2</sub> on Duck Eggshell Membrane as Separators in Superkapasitor Applications, *Materials Science Forum*, Vol 827, hal 151-155.
33. Lewandowski, A. and Galinski, M., 2007, Practical and Theoretical Limits for Electrochemical Double-Layer Capacitors. *Journal of Power Sources*, Vol 173, hal 822-828.
34. Rizky, A., Ahmad, K., dan Lutpita, M., 2013, *Pembuatan Nanokarbon dengan Karbon Limbah Baterai untuk Aplikasi Elektroda Supercapacitor*, Laporan Akhir Program Kreativitas Mahasiswa, ITB.
35. Inagaki. M, 2010. *Carbon Materials for Electrochemical Capacitors*. Hokkaido University, Sapporo 060-8628, Japan.
36. Emmenegger, C., Mauron, Ph., Sudan, P., Wenger, P., Hermann, V., Gallay, R., Zuttel, A. 2003. Investigation of electrochemical double-layer (EDLC) capacitors electrodes based on carbon nanotubes and activated carbon materials. *Journal Power Sources*, 124: 321

37. Ariyanto, T., Prasetyo, I., dan Rochmadi, 2012, *Pengaruh Struktur Pori Terhadap Kapasitansi Elektroda Superkapasitor Yang di Buat dari Karbon Nanopori*, Reaktor, Vol.14, No.1, Jurusan Teknik Kimia Universitas Gajah Mada, hal 25-3.
38. Taer, E., 2009, *Pembangunan Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon*. laporan penelitian FMIPA Universitas Riau, Pekanbaru.
39. Endo, M., Takeda, T., Kim, Y. J., Konshiba, K. Inshil, K., 2001, High power Electric Double Layer Capacitor (EDLC'S) from perating principle to pore Size control in advanced activated karbon. *Carbon science*. Hal 117-128.
40. Gonzalez, M. C. F., Serrano, G. V., Cervantest, M. R., Franco, A., dan Garcias, A. M., 2003, Carbonization and demineralization of coals: A study by means of FT-IR spectroscopy, *Matter*, Vol.26, No.7, Indian Academy of Science.
41. Kristianto H., 2017, Sintetis Karbon Aktif dengan Menggunakan Aktivasi Kimia ZnCl<sub>2</sub>, *Jurnal Integrasi Proses*, Vol 6, No.3, hal 104 – 111
42. Sukeksi, L., Hidayati, R. D., Paduana, A. B., 2017, Leaching Kalium Dari Abu Kulit Coklat (*Theobroma cacao L* ) Menggunakan Pelarut Air, *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara*, vol. 6, hal 30–34.
43. Yetri, Y., Gunawarman, Emriadi, Jamarun N., 2018, Theobroma Cacao Peel Extract as the Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Mild Steel, Corrosion Inhibitors, *Principles and Recent Applications*, hal 202-223.
44. Arora, P., Zhang, Z.J. (2004). Battery Separator. *Chemical Reviews*, Vol 104, hal 4419-4462
45. Rahman, Riki. Optimalisasi Potensi Rumput Gajah (*Pennisetum Polystachion*) & Sagu Sebagai Bahan Perancangan Superkapasitor Berbasis *Green Technology*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau. 2016.
46. Yanuar, Iwanto, Erman Taer, Risa Andriani. Pengaruh Elektroda Terhadap Nilai Kapasitansi Spesifik dan 'Retained Ratio' Serbuk Gergaji Kayu untuk Pembuatan Superkapasitor. Surabaya. Prosiding Seminar Nasional Fisika II. 2010. [Online] Available (<http://repository.unri.ac.id> Diakses pada tanggal 20 Maret 2020).
47. Brown, M.E. 2001. *Introduction to Thermal Analysis*. London: Kluwer Academic Publisher.

48. Ratnasari, D., Hermanihadi, S., Indriyanto, W., Fathony, A., Devi WH. F., Agung R, P. dan Amin Rais, Y. 2009. Tugas Kimia Fisika X-Ray Diffraction (XRD), Surakarta: FT UNS.
49. Vlanck, V, Lawrence. 2004. *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material Edisi Ke-6*. Jakarta: Erlangga.
50. Ewing, G.W., 1960. *Instrumental Methods of Chemical Analysis*, 2nd edition, Mc Graw Hill Book Company Inc. Kogakusha Company. LTD, Tokyo.
51. Troitzsch, U. 2007. *X-Ray Diffraction (XRD)*. Australia: Department of Earth and Marine Sciences Australian National University.
52. Prawiroredjo. 2006. Portable digital multimeter basid D1C18F4550. *Telekontran No 1 Vol 2*.
53. J. M. Zielinski and L. Kettle. 2013. *Physical Characterization: Surface Area and Porosity*
54. Nilsson, James W. 1996. Electric Circuit 5th Edition. *Wesley Publishing Company* : USA
55. Fuhu, L., C. Weidong, S. Zengmin, W. Yixian, L. Yunfang, and L. Hui. 2010. *Activation of mesocarbon microbeads with different textures and their application for supercapacitor*. Fuel Processing Technology 91 (1):17–24. doi:10.1016/j.fuproc.2009.08.020.

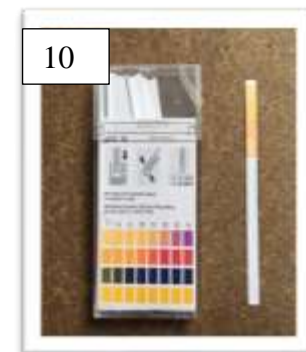
**LAMPIRAN 1**  
**BAHAN DAN ALAT PENELITIAN**



**Gambar** Persiapan elektroda karbon aktif Kulit Buah kakao

(1) Kulit Buah Kakao (2) Kulit buah Kakao setelah dehidrasi (3) Kulit Buah kakao setelah Pra-Karbonisasi (4) Kulit buah kakao setelah diayak (5) Aktivasi Kimia dengan aktivator KOH (6) Kulit buah kakao ditimbang 0,7 gram (7) Kulit buah kakao setelah dicetak (8) Pelet Kulit buah kakao dikarbonisasi dan aktivasi (9) Pelet Kulit Buah kakao setelah pemolesan.







**Gambar** Alat yang digunakan dalam Penelitian

(1) Rangkaian alat Karbonisasi dan Aktivasi bertingkat, (2) Oven, (3) Ballmilling, (4) Ayakan, (5) Timbangan Digital, (6) Hydrolic Press, (7) Jangka sorong, (8) Tungku Furnance, (9) Kuas, (10) pH Indikator, (11) Sarung Tangan, (12) Kertas Pasir P1500, (13) Kompur Listrik, (14) Alat ukur Cyclic Voltammetry, (15) Alat ukur BET, (16) Alat ukur X-RD, (17) Alat ukur SEM dan EDX, (18) Air suling.

## LAMPIRAN 2

### Data Susut Massa Pra-Karbonisasi 1

NO	Massa awal	Massa Akhir	% Susut massa
	(gram)	(gram)	(%)
1	30	19,755	34,150
2	30	22,708	24,307
3	30	22,752	24,160
4	30	20,918	30,273
5	30	22,622	24,593
6	30	24,078	19,740
7	30	21,672	27,760
8	30	23,148	22,840
9	30	24,218	19,273
10	30	22,260	25,800
Rata-rata	30	22,413	25,290

Contoh perhitungan:

Diketahui :  $m_{\text{awal}} = 30 \text{ g}$   
 $m_{\text{akhir}} = 19,755 \text{ g}$

ditanya : % susut massa = ?

$$\begin{aligned}\% \text{ susut massa} &= \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \\ &= \frac{30 \text{ g} - 19,755 \text{ g}}{30 \text{ g}} \\ &= \frac{10,245 \text{ g}}{30 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 34,15\%\end{aligned}$$

### Data Susut Massa Pra-Karbonisasi 2

NO	Massa awal	Massa Akhir	% Susut massa
	(gram)	(gram)	(%)
1	30	20,657	31,143
2	30	21,560	28,133,
3	30	21,674	27,753
4	30	21,765	27,450
5	30	20,986	30,046
6	30	21,268	29,106
7	30	22,457	25,143
8	30	22,425	25,25
9	30	23,882	20,393
10	30	23,454	21,820
Rata-rata	30	22,012	21,285

Contoh perhitungan:

Diketahui :  $m_{\text{awal}} = 30 \text{ g}$   
 $m_{\text{akhir}} = 20,657 \text{ g}$

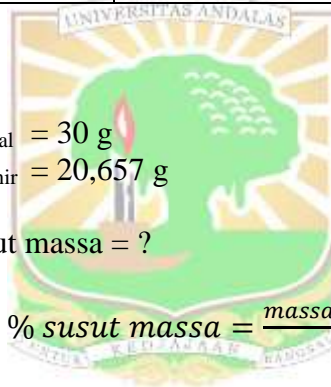
ditanya : % susut massa = ?

$$\% \text{ susut massa} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}}$$

$$= \frac{30 \text{ g} - 20,657 \text{ g}}{30 \text{ g}}$$

$$= \frac{9,343 \text{ g}}{30 \text{ g}} \times 100\%$$

$$= 31,14 \%$$



### LAMPIRAN 3

#### DATA PENGUKURAN MASSA, TEBAL, DIAMETER DAN PERHITUNGAN DENSITAS

**Tabel 1.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,3 M sebelum karbonisasi- aktivasi 600 °C

Kode sampel	massa (gr)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.698	1.988	0.264	0.852
C3-2	0.693	1.982	0.262	0.858
C3-3	0.712	1.996	0.266	0.856
C3-4	0.707	1.972	0.259	0.894
C3-5	0.723	1.998	0.265	0.871
C3-6	0.716	1.982	0.260	0.893
C3-7	0.688	1.978	0.252	0.890
Rata-rata	0.705	1.985	0.261	0.873

**Tabel 2.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,4 M sebelum karbonisasi-aktivasi 600 °C

Kode Sampel	massa (g)	Diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.690	1.968	0.232	0.978
C4-2	0.710	1.994	0.243	0.936
C4-3	0.740	1.987	0.238	1.004
C4-4	0.690	1.975	0.248	0.909
C4-5	0.710	1.996	0.252	0.901
C4-6	0.700	1.989	0.242	0.932
C4-7	0.690	1.969	0.230	0.987
Rata-rata	0.704	1.982	0.240	0.951

**Tabel 3.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,3 M sebelum karbonisasi- aktivasi 700 °C

Kode sampel	massa (gr)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.710	1.967	0.271	0.862
C3-2	0.680	1.994	0.260	0.862
C3-3	0.690	1.986	0.253	1.906
C3-4	0.720	1.993	0.253	1.940
C3-5	0.740	1.992	0.244	1.004
C3-6	0.710	1.983	0.253	0.938
C3-7	0.670	1.983	0.241	0.916
Rata-rata	0.703	1.985	0.254	0.918

**Tabel 4.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,4 M sebelum karbonisasi-aktivasi 700 °C

Kode Sampel	massa (g)	Diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.760	1.980	0.250	1.010
C4-2	0.720	1.986	0.235	1.008
C4-3	0.730	1.993	0.257	0.944
C4-4	0.680	1.952	0.246	0.912
C4-5	0.700	1.977	0.246	0.942
C4-6	0.690	1.988	0.243	0.949
C4-7	0.680	1.969	0.229	0.977
Rata-rata	0.689	1.978	0.240	0.950

**Tabel 5.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,4 M sebelum karbonisasi-aktivasi 800°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.630	1.958	0.210	0.997
C4-2	0.640	1.965	0.214	0.986
C4-3	0.620	1.958	0.211	0.976
C4-4	0.660	1.964	0.221	0.986
C4-5	0.680	1.960	0.225	1.002
C4-6	0.460	1.954	0.165	0.930
C4-7	0.670	1.969	0.232	0.950
Rata-rata	0.664	1.967	0.224	0.977

**Tabel 6.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,3 M sebelum karbonisasi-aktivasi 900°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.728	1.965	0.223	1.078
C3-2	0.676	1.940	0.196	1.167
C3-3	0.724	1.962	0.218	1.100
C3-4	0.708	1.955	0.226	1.044
C3-5	0.710	1.962	0.228	1.031
C3-6	0.670	1.960	0.206	1.078
C3-7	0.704	1.968	0.212	1.093
Rata-rata	0.702	1.958	0.215	1.085

**Tabel 7.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda 0,4 M sebelum karbonisasi-aktivasi 900°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.718	1.947	0.198	1.219
C4-2	0.703	1.958	0.199	1.175
C4-3	0.715	1.960	0.202	1.174
C4-4	0.722	1.962	0.216	1.110
C4-5	0.707	1.959	0.201	1.168
C4-6	0.706	1.958	0.202	1.163
C4-7	0.694	1.964	0.224	1.023
Rata-rata	0.709	1.958	0.206	1.145

**Tabel 8.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,3 M setelah karbonisasi-aktivasi 600°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.240	1.473	0.180	0.784
C3-2	0.250	1.476	0.185	0.791
C3-3	0.260	1.480	0.184	0.822
C3-4	0.270	1.482	0.181	0.865
C3-5	0.240	1.468	0.180	0.789
C3-6	0.250	1.454	0.182	0.827
C3-7	0.270	1.465	0.183	0.876
Rata-rata	0.254	1.471	0.182	0.822

**Tabel 9.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,4 M setelah karbonisasi-aktivasi 600°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.220	1.448	0.175	0.763
C4-2	0.210	1.457	0.176	0.715
C4-3	0.220	1.463	0.173	0.758
C4-4	0.230	1.464	0.167	0.821
C4-5	0.230	1.460	0.167	0.824
C4-6	0.240	1.458	0.169	0.851
C4-7	0.220	1.465	0.168	0.777
Rata-rata	0.224	1.459	0.170	0.788

**Tabel 10.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,3 M setelah karbonisasi-aktivasi 700°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.260	1.483	0.198	0.823
C3-2	0.260	1.480	0.185	0.875
C3-3	0.280	1.481	0.184	0.948
C3-4	0.250	1.480	0.191	0.810
C3-5	0.250	1.481	0.186	0.839
C3-6	0.240	1.473	0.184	0.807
C3-7	0.250	1.482	0.183	0.851
Rata-rata	0.256	1.480	0.187	0.850

**Tabel 11.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,4 M setelah karbonisasi-aktivasi 700°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.210	1.464	0.182	0.723
C4-2	0.210	1.478	0.178	0.733
C4-3	0.240	1.486	0.183	0.818
C4-4	0.230	1.487	0.172	0.826
C4-5	0.230	1.484	0.177	0.809
C4-6	0.260	1.485	0.176	0.911
C4-7	0.230	1.494	0.182	0.786
Rata-rata	0.230	1.483	0.179	0.801



**Tabel 12.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,4 M setelah karbonisasi-aktivasi 800°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C4-1	0.210	1.426	0.151	0.871
C4-2	0.250	1.431	0.158	0.983
C4-3	0.240	1.431	0.153	0.977
C4-4	0.270	1.434	0.162	1.030
C4-5	0.260	1.430	0.164	0.988
C4-6	0.220	1.434	0.146	0.933
C4-7	0.220	1.429	0.155	0.887
Rata-rata	0.250	1.374	0.163	0.973

**Tabel 13.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,3 M setelah karbonisasi-aktivasi 900°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.170	1.214	0.140	1.055
C3-2	0.183	1.224	0.140	1.115
C3-3	0.181	1.234	0.147	1.034
C3-4	0.182	1.227	0.142	1.089
C3-5	0.184	1.228	0.142	1.095
C3-6	0.192	1.230	0.144	1.122
C3-7	0.180	1.229	0.144	1.058
Rata-rata	0.181	1.226	0.142	1.081

**Tabel 14.** Massa, tebal, diameter dan densitas elektroda karbon 0,4 M setelah karbonisasi-aktivasi 900°C.

Kode sampel	massa (g)	diameter (cm)	ketebalan (cm)	densitas (g/cm <sup>3</sup> )
C3-1	0.165	1.215	0.139	1.024
C3-2	0.185	1.223	0.140	1.128
C3-3	0.180	1.234	0.142	1.065
C3-4	0.175	1.228	0.140	1.060
C3-5	0.177	1.228	0.142	1.053
C3-6	0.178	1.231	0.145	1.034
C3-7	0.168	1.230	0.144	0.982
Rata-rata	0.175	1.227	0.141	1.049

## LAMPIRAN 4

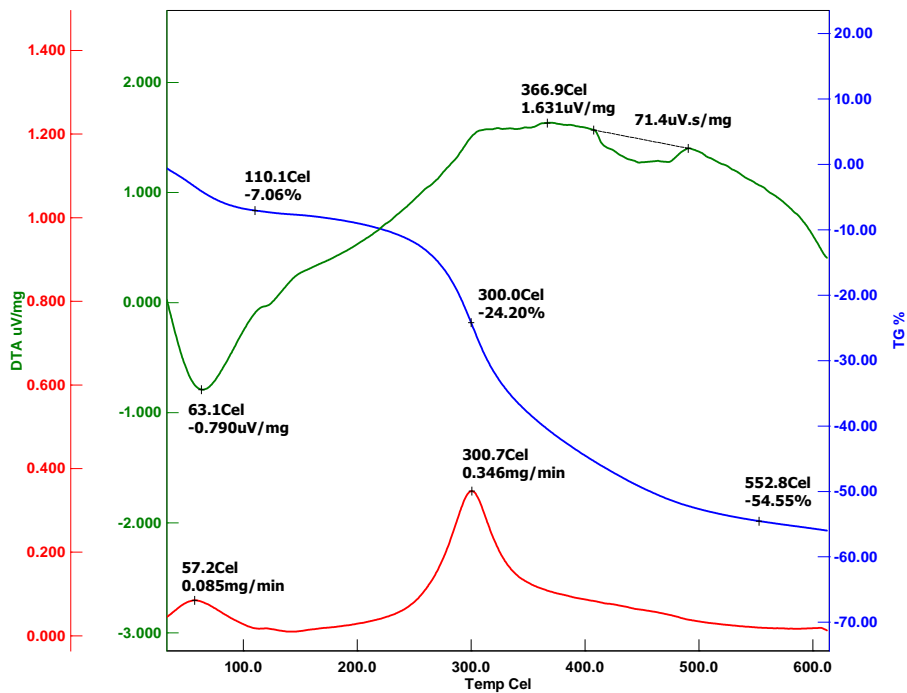
### ANALISA DATA TGA

Module : TG/DA  
 Data Name  
 143.BM.11.LL.07.18  
 Measurement Date : 7/23/2018  
 Sample name :  
 143.BM.11.LL.07.18  
 Sample Weight : 7.346 mg  
 Reference Name : Platina  
 Reference Weight : 0.000mg  
 Temperature Program ;

#### Temperature Program

	Cel	Cel	Cel/min	Min	S
1*	30	600	10	0	0.5

Comment :  
 Operator : UPT.LTSIT Unila  
 Gas1: Nitrogen  
 Pan : Platina  
 Kulit Buah kakao



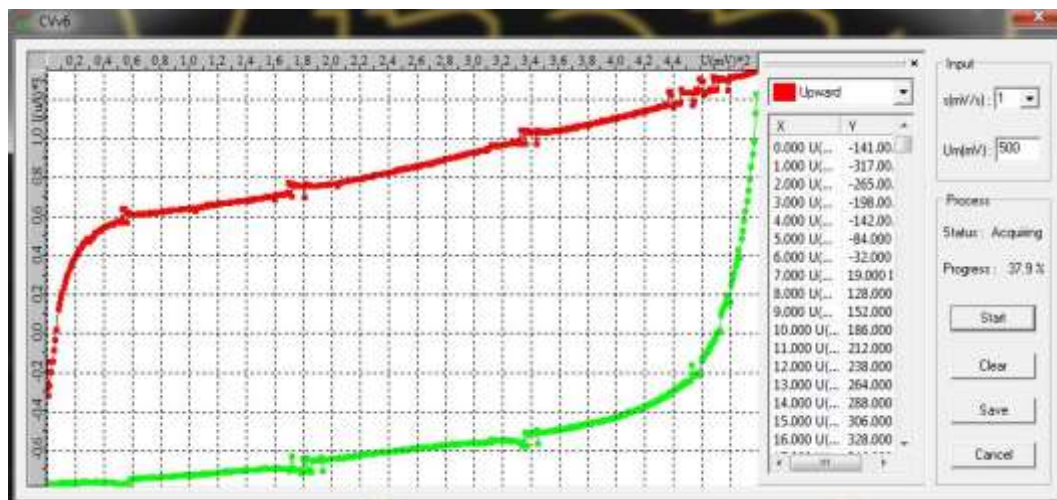
## LAMPIRAN 5

**Tabel 15.** Data perhitungan kapasitansi spesifik (Csp)

Perlakuan	Sel	Massa (g)	massa rata (g)	Ic ( $\mu\text{A}$ )	Id ( $\mu\text{A}$ )	Csp (F/g)
0,3 M 600 <sup>o</sup> C	C36-2	0.0173	0.0173	153	-86	13.78
0,4 M 600 <sup>o</sup> C	C46-3	0.0167	0.0167	378	-9	22.93
0,3 M 700 <sup>o</sup> C	C37-4	0,0135	0,0132	707	-483	90,2
	C37-5	0,0129				
0,4 M 700 <sup>o</sup> C	C47-2	0,0103	0,0112	993	-577	140,2
	C47-3	0,0121				
0,4 M 800 <sup>o</sup> C	C48-18	0,0167	0,0164	299	-303	36,8
0,3 M 900 <sup>o</sup> C	C39-4	0.0178	0.0178	608	90	29.20
0,4 M 900 <sup>o</sup> C	C49-5	0.0163	0.0163	551	52	30.55



**Gambar 1.** Voltammogram pengukuran sampel 0,3 M 700<sup>o</sup>C



Gambar 2. Voltammogram pengukuran sampel 0.4 M 700°C

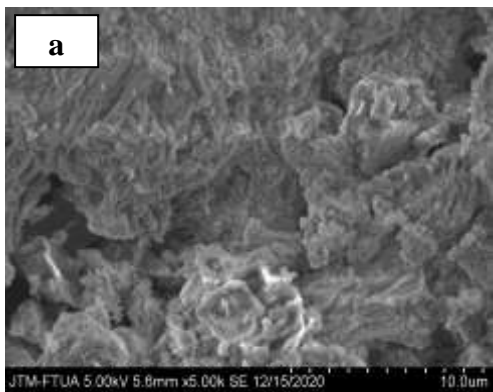


Gambar 3. Voltammogram pengukuran sampel 0.4 M 800°C

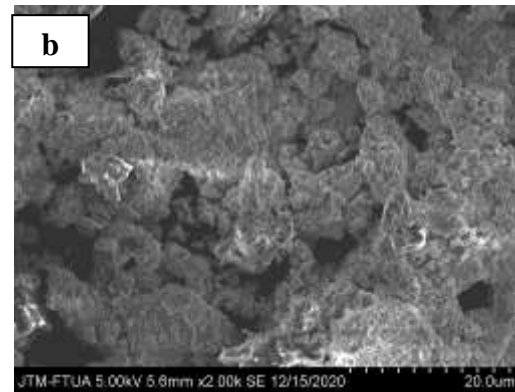
## LAMPIRAN 6

### KARAKTERISASI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)

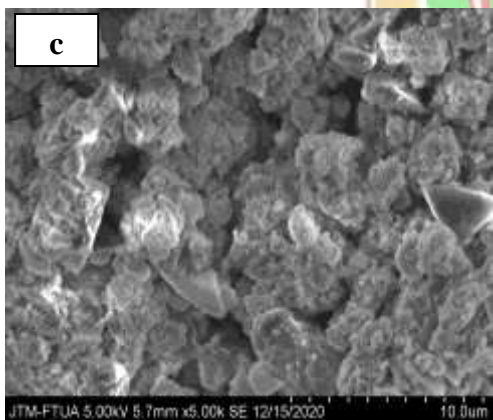
#### A. Karakterisasi SEM



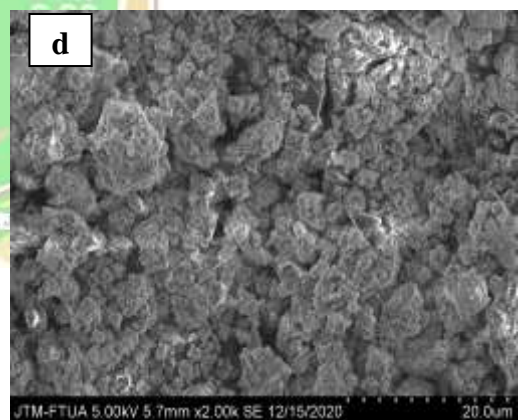
**a. Sampel 0,3 M 600°C  
Perbesaran 5000 kali**



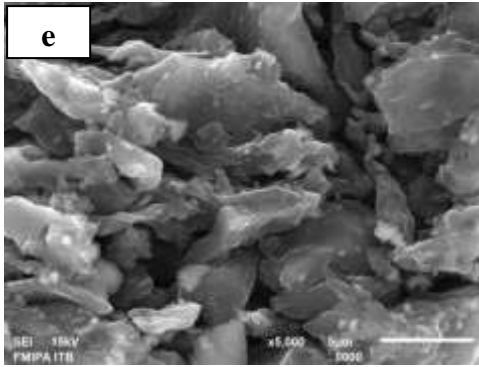
**b. Sampel 0,3 M 600°C  
Perbesaran 2000 kali**



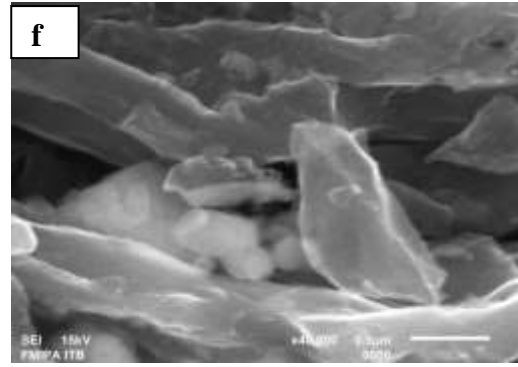
**c. Sampel 0,4 M 600°C  
Perbesaran 5000 kali**



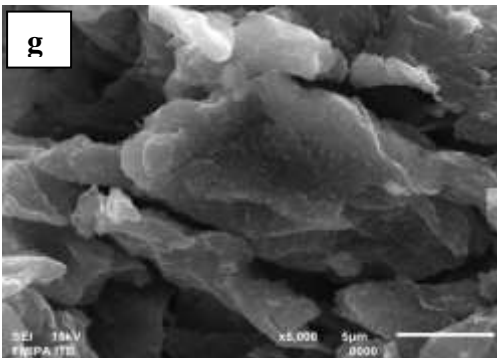
**d. Sampel 0,4 M 600°C  
Perbesaran 2000 kali**



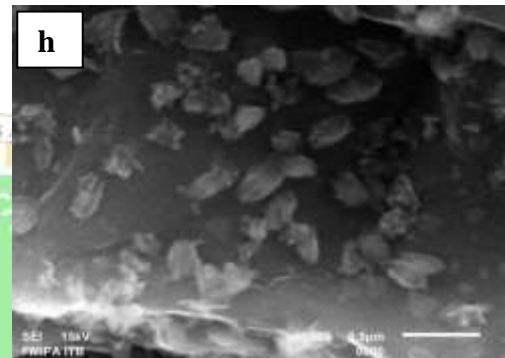
**e. Sampel 0,3 M 700°C  
Perbesaran 5000 kali**



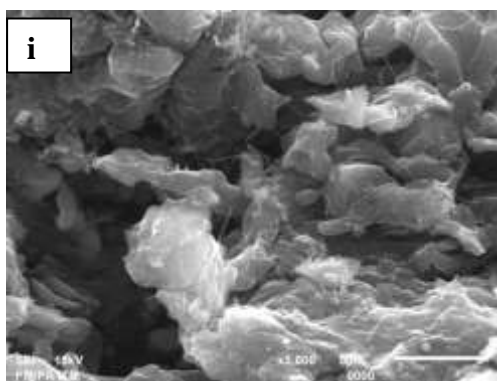
**f. Sampel 0,3 M 700°C  
Perbesaran 40.000 kali**



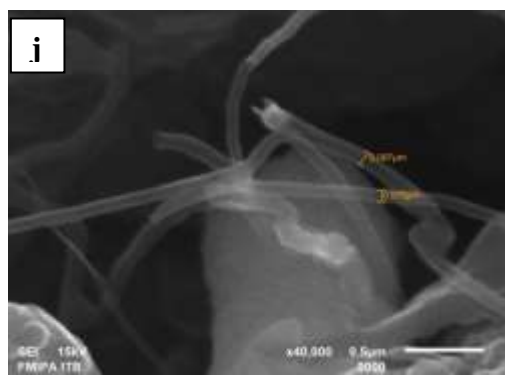
**g. Sampel 0,4 M 700°C  
Perbesaran 5000 kali**



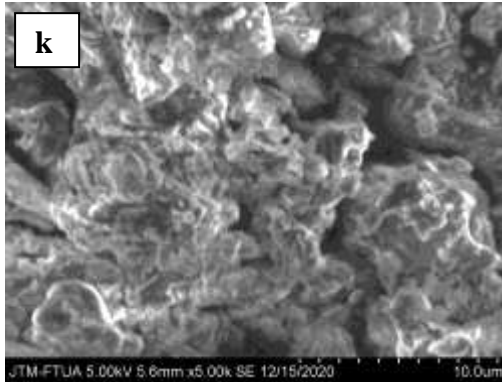
**h. Sampel 0,4 M 700°C  
Perbesaran 40.000 kali**



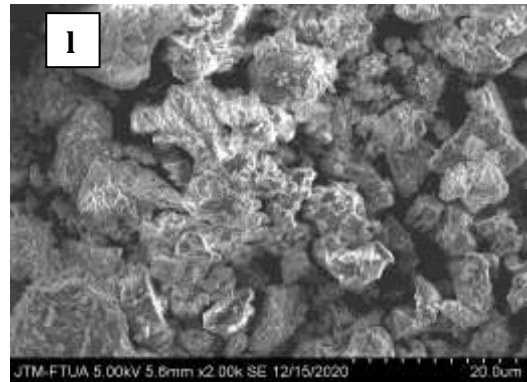
**h. Sampel 0,4 M 800°C  
Perbesaran 5000 kali**



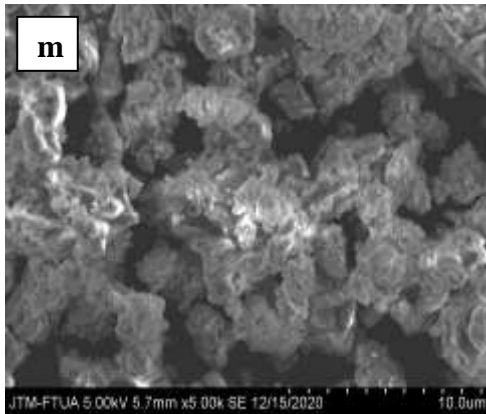
**i. Sampel 0,4 M 800 °C  
Perbesaran 40.000 kali**



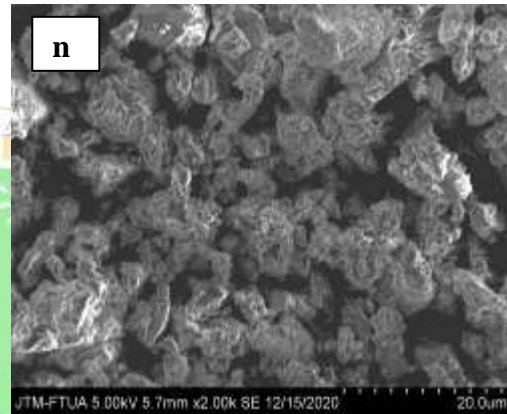
**k. Sampel 0,3 M 900°C  
Perbesaran 5000 kali**



**l. Sampel 0,3 M 900 °C  
Perbesaran 2.000 kali**



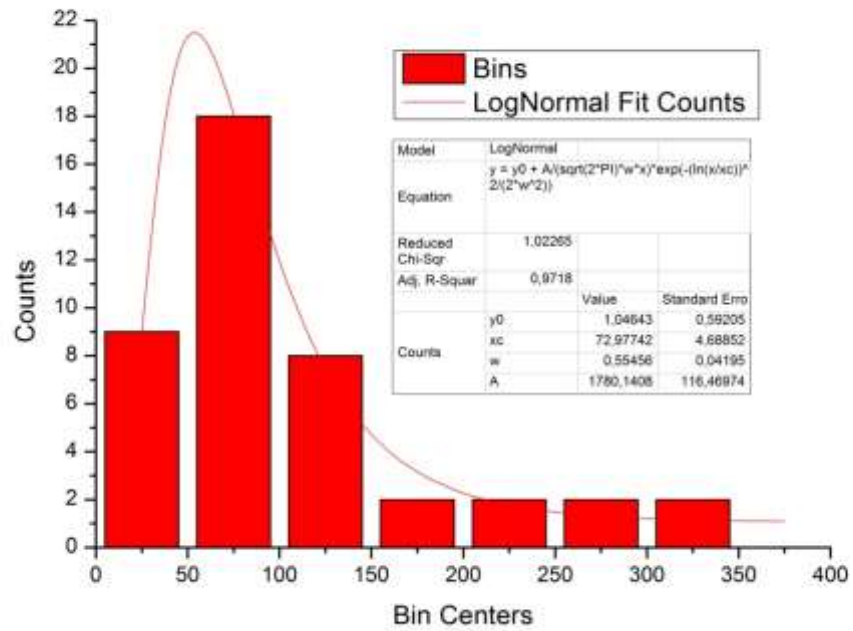
**m. Sampel 0,4 M 900°C  
Perbesaran 5000 kali**



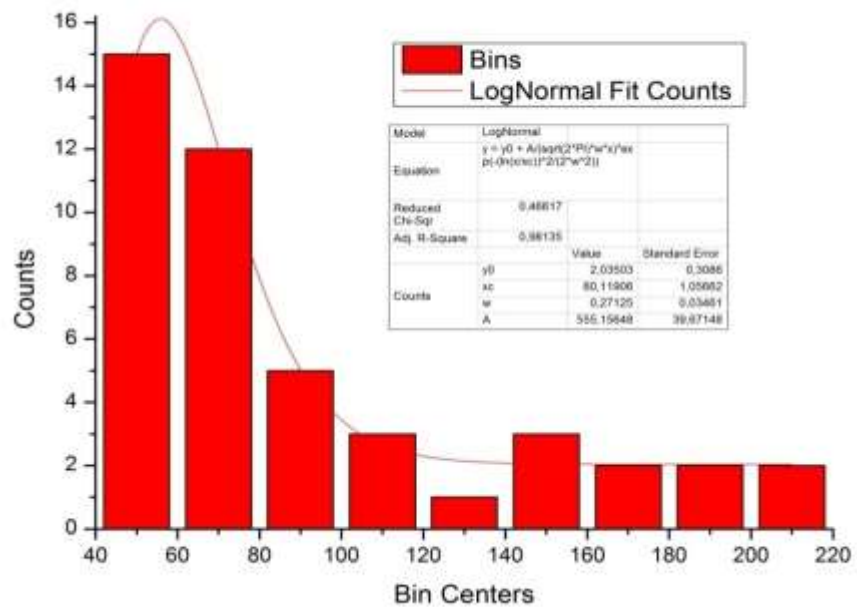
**n. Sampel 0,4 M 900°C  
Perbesaran 2.000 kali**

## B. Kurva ukuran pori sampel hasil karakterisasi SEM

### 1. Kurva Ukuran Pori Sampel 600 °C 0,3 M

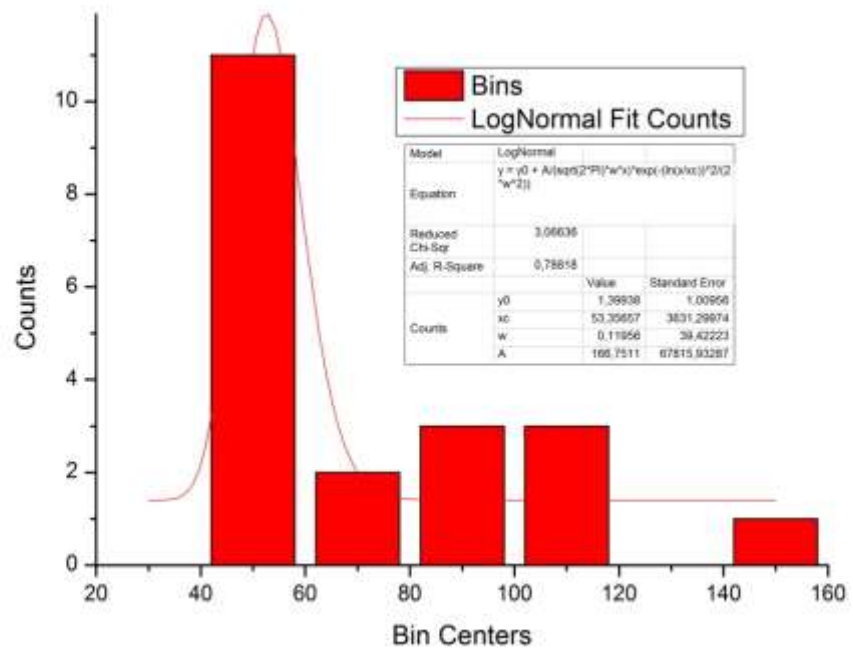


### 2. Kurva Ukuran Pori Sampel 600 °C 0,4 M

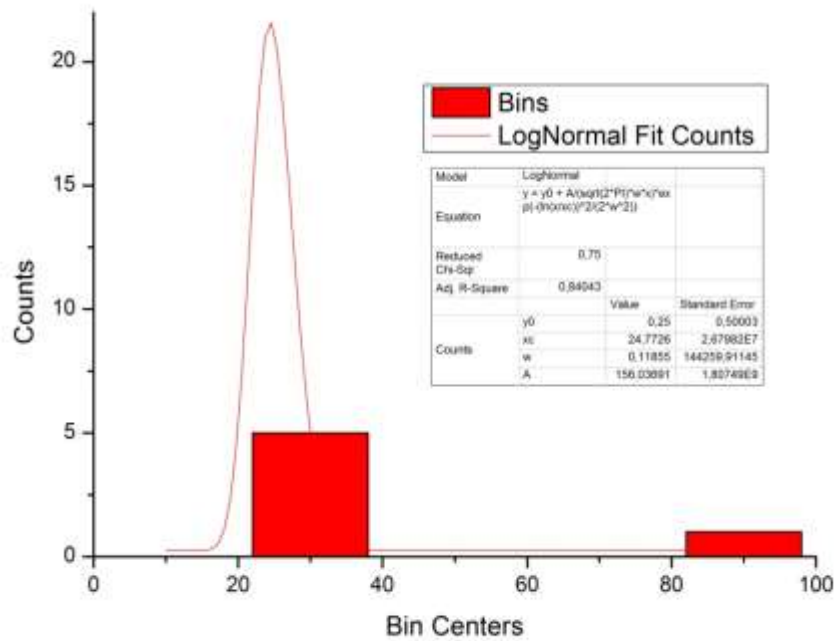




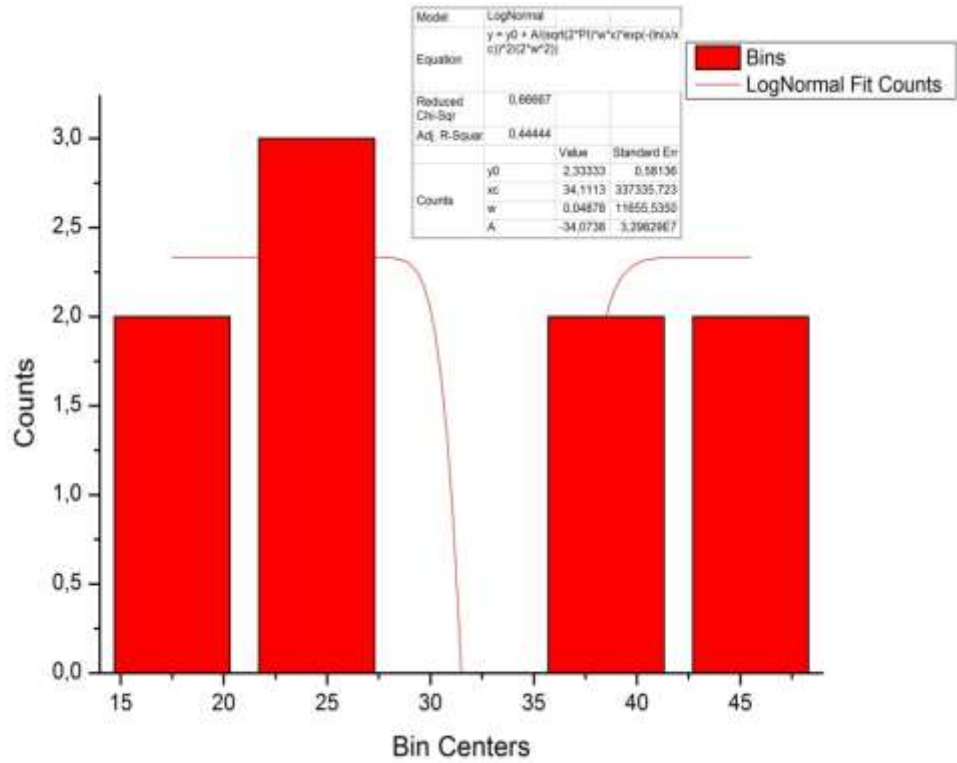
### 3. Kurva Ukuran Pori Sampel 700 °C 0,3 M



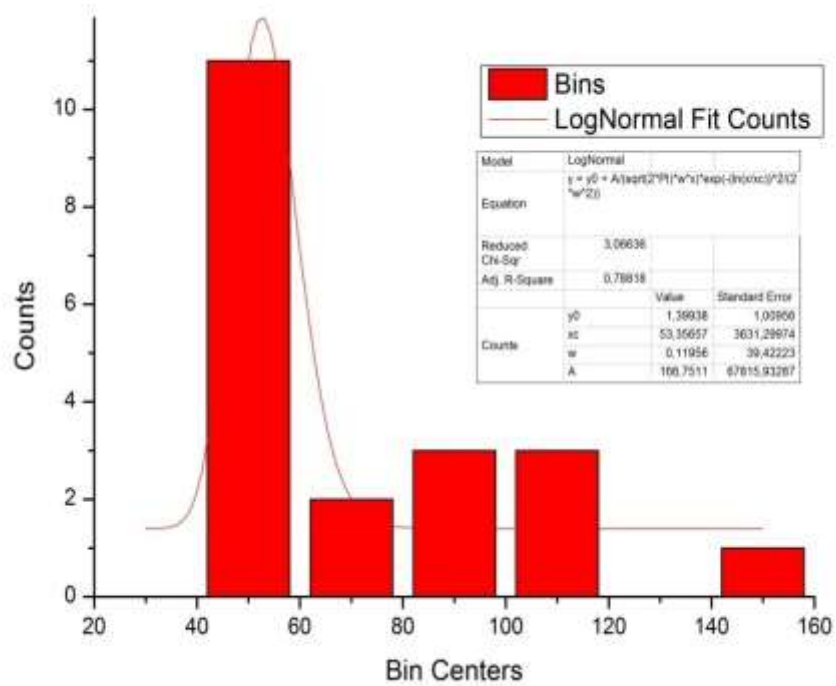
### 4. Kurva Ukuran Pori Sampel 700 °C 0,4 M



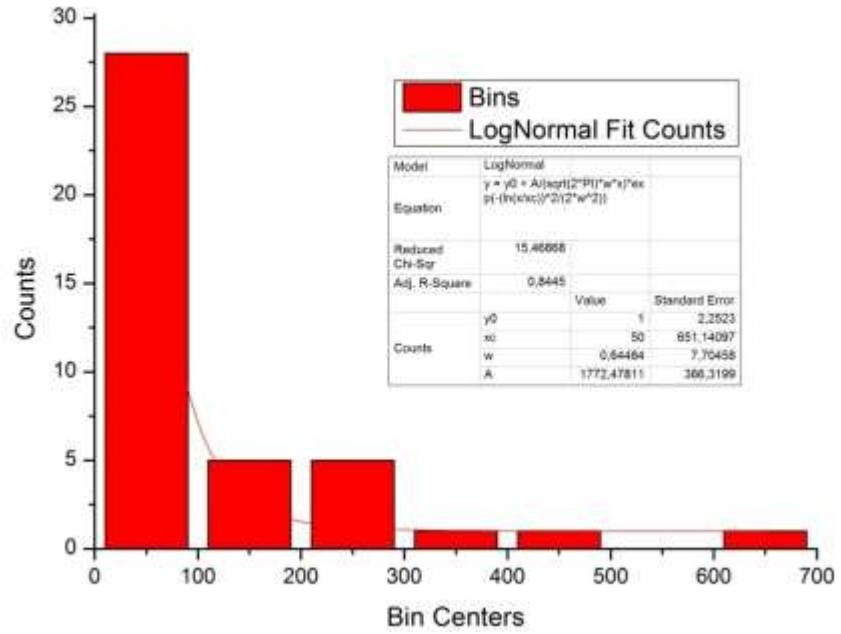
5. Kurva Ukuran Pori Sampel 800 °C 0,4 M



6. Kurva Ukuran Pori Sampel 900 °C 0,3 M



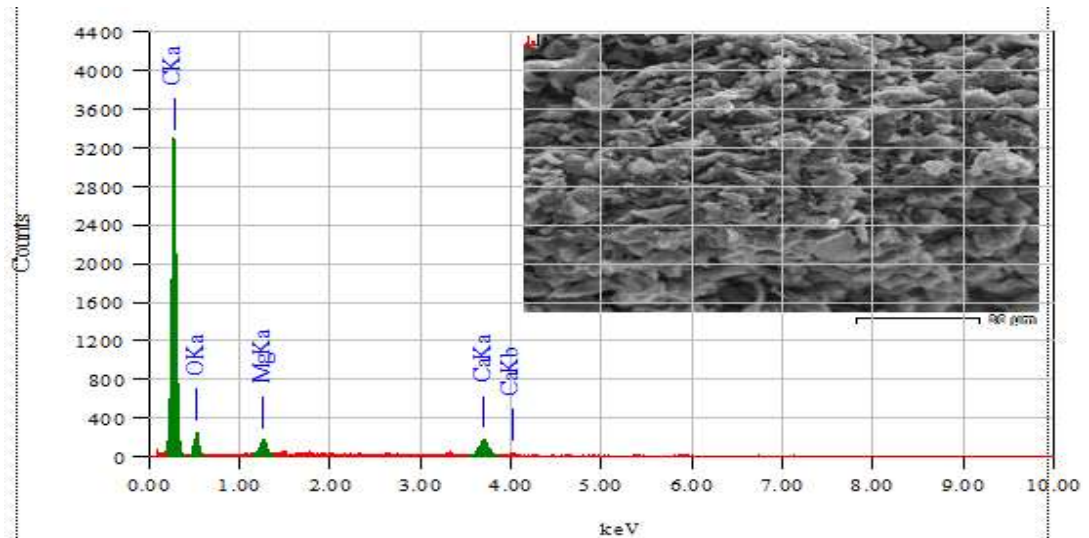
## 7. Kurva Ukuran Pori Sampel 900 °C 0,4 M



## LAMPIRAN 7

### SPEKTRUM DAN DATA KARAKTERISASI

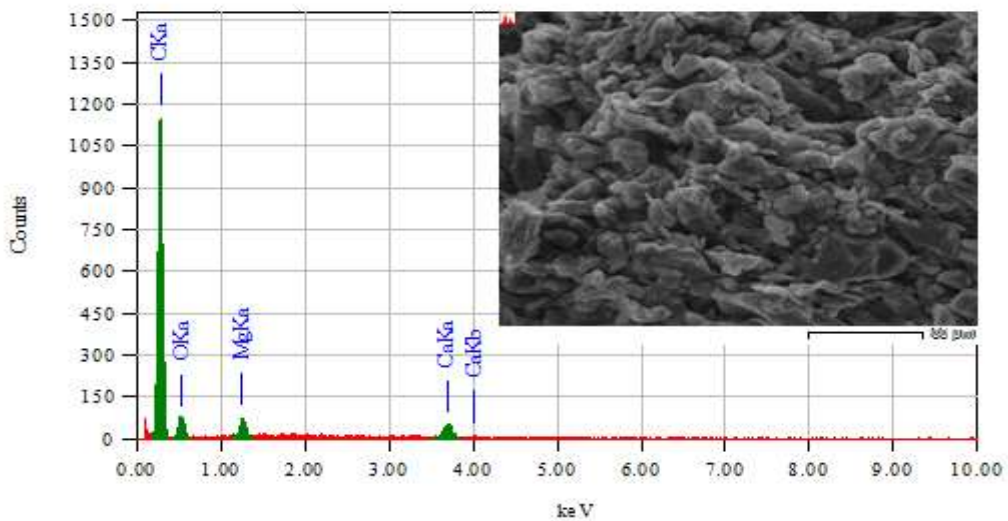
#### A. Data Karakterisasi EDX Sampel 0,3 M 700°C



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
Fitting Coefficient : 0.6714

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	87.05	0.24	91.02				94.4203
O K	0.525	10.12	1.29	7.95				2.2429
Mg K	1.253	0.75	0.23	0.39				0.7454
Ca K	3.690	2.07	0.51	0.65				2.5914
Total		100.00		100.00				

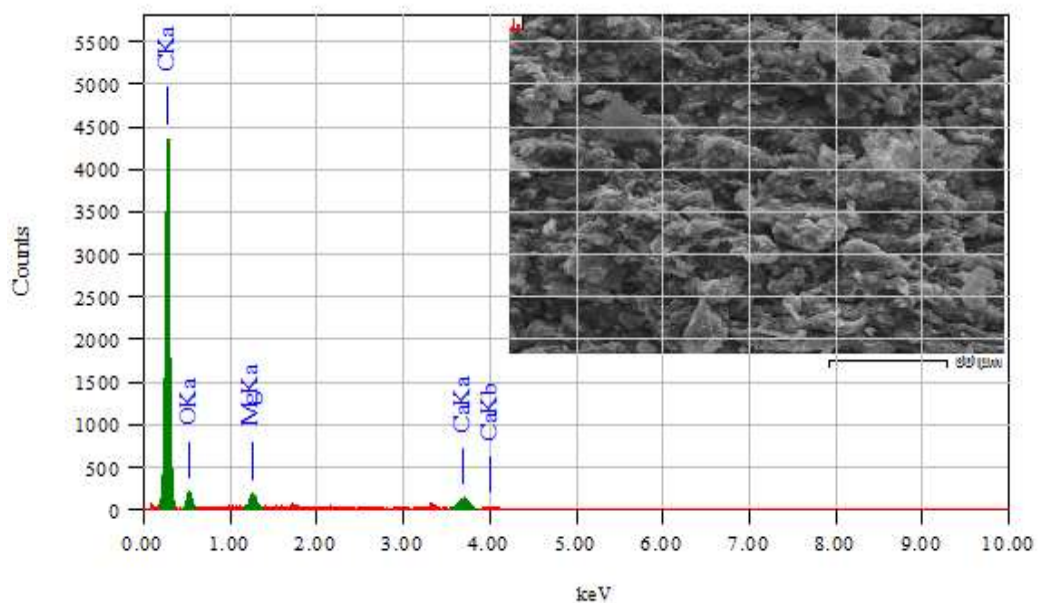
#### B. Data Karakterisasi EDX sampel 0,4 M 700° C



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
 Fitting Coefficient : 0.6778

Element (keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	87.87	0.25	91.49			95.0048
O K	0.525	9.65	1.32	7.54			2.1317
Mg K	1.253	0.94	0.23	0.48			0.9328
Ca K	3.690	1.55	0.52	0.48			1.9307
Total		100.00		100.00			


### C. Data Karakterisasi EDX Sampel 0,4 M 800°C




ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
 Fitting Coefficient : 0.6930

Element (keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	91.33	0.26	94.05			96.5679
O K	0.525	6.75	1.47	5.22			1.3464
Mg K	1.253	0.68	0.25	0.35			0.6445
Ca K	3.690	1.23	0.56	0.38			1.4412
Total		100.00		100.00			

### D. Data Karakterisasi XRF Sampel 0,4 M 600°C

 <p style="text-align: center;"> <b>Laboratorium Kimia Instrumen</b>                      Fakultas MIPA                      Universitas Negeri Padang                      Instrumen XRF PANalytical Epsilon 3                 </p>								
<b>Nama Sampel :</b>			<u>0,4 M 600 C</u>			<b>Tanggal analisa:</b>		<b>4 Juni 2021</b>
<b>Costumer:</b>			<u>Rahma Fikri Nuradi</u>			<b>Analisis:</b>		<b>Willy Drya Puspa, S.Si</b>
<b>e-mail :</b>			<u>rahma22fikri.nuradi@gmail.com</u>					
Elemen			Geology			Oxides		
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Na	0	%	Na2O	0	%	Na2O	0	%
Mg	4.872	%	MgO	7.14	%	MgO	7.13	%
Al	0.809	%	Al2O3	1.32	%	Al2O3	1.32	%
Si	1.223	%	SiO2	2.26	%	SiO2	2.26	%
P	2.03	%	P2O5	3.98	%	P2O5	3.97	%
S	1.01	%	SO3	2.12	%	SO3	2.12	%
Cl	0.108	%	Cl	0.09	%	K2O	56.2	%
K	61.828	%	K2O	56.4	%	CaO	23.9	%
Ca	24.647	%	CaO	24.1	%	TiO2	0.05	%
Ti	0.044	%	Ti	0.03	%	Cr2O3	0.03	%
Cr	0.027	%	Cr	0.02	%	MnO	0.92	%
Mn	1.056	%	Mn	0.72	%	Fe2O3	0.4	%
Fe	0.411	%	Fe2O3	0.4	%	NiO	0.01	%
Ni	0.014	%	Ni	0.01	%	CuO	0.05	%
Cu	0.062	%	Cu	0.04	%	ZnO	0.38	%
Zn	0.457	%	Zn	0.31	%	Rb2O	0.11	%
Rb	0.155	%	Rb	0.11	%	SrO	0.04	%
Sr	0.046	%	Sr	0.03	%	Y2O3	0	%
Y	0	%	Y	0	%	Ag2O	0.94	%
Ag	1.135	%	Ag	0.88	%	BaO	0.05	%
Ba	0.065	%	Ba	0.05	%	CeO2	0	%
Ce	0	%	Ce	0	%	Cl	0.09	%

### E. Data Karakterisasi XRF Sampel 0,4 M 900°C

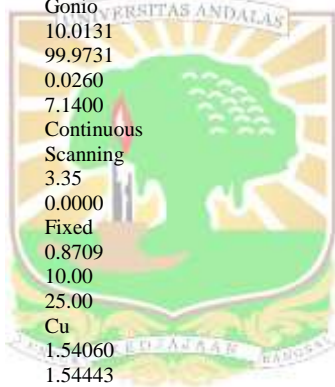
 <p style="text-align: center;"> <b>Laboratorium Kimia Instrumen</b>                      Fakultas MIPA                      Universitas Negeri Padang                      Instrumen XRF PANalytical Epsilon 3                 </p>								
<b>Nama Sampel :</b>			<b>0,4 M 900 C</b>			<b>Tanggal analisa:</b>		<b>4 Juni 2021</b>
<b>Costumer:</b>			<b>Rahma Fikri Nuradi</b>			<b>Analisis:</b>		<b>Willy Drya Puspa, S.Si</b>
<b>e-mail :</b>			<b>rahma22fikri.nuradi@gmail.com</b>					
Elemen			Geology			Oxides		
Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit	Compound	Conc	Unit
Na	0	%	Na2O	0	%	Na2O	0	%
Mg	3.78	%	MgO	5.57	%	MgO	5.56	%
Al	1.46	%	Al2O3	2.39	%	Al2O3	2.39	%
Si	1.36	%	SiO2	2.53	%	SiO2	2.52	%
P	2.01	%	P2O5	3.94	%	P2O5	3.93	%
S	0.43	%	SO3	0.91	%	SO3	0.9	%
Cl	0.13	%	Cl	0.11	%	K2O	51.4	%
K	56.4	%	K2O	51.6	%	CaO	30.1	%
Ca	30.8	%	CaO	30.3	%	TiO2	0.1	%
Ti	0.09	%	Ti	0.06	%	Cr2O3	0	%
Cr	0	%	Cr	0	%	MnO	1.08	%
Mn	1.23	%	Mn	0.84	%	Fe2O3	0.5	%
Fe	0.52	%	Fe2O3	0.5	%	NiO	0.01	%
Ni	0.01	%	Ni	0.01	%	CuO	0.08	%
Cu	0.09	%	Cu	0.06	%	ZnO	0.03	%
Zn	0.04	%	Zn	0.03	%	Rb2O	0.19	%
Rb	0.26	%	Rb	0.18	%	SrO	0.05	%
Sr	0.07	%	Sr	0.05	%	Y2O3	0	%
Y	0	%	Y	0	%	ZrO2	0.01	%
Zr	0.01	%	Zr	0.01	%	Ag2O	0.96	%
Ag	1.15	%	Ag	0.89	%	BaO	0.06	%
Ba	0.07	%	Ba	0.05	%	CeO2	0	%
Ce	0	%	Ce	0	%	OsO4	0	%
Re	0	%	Re	0	%	Cl	0.11	%

## LAMPIRAN 8 DATA UJI XRD

### 1. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,3 M 600° C

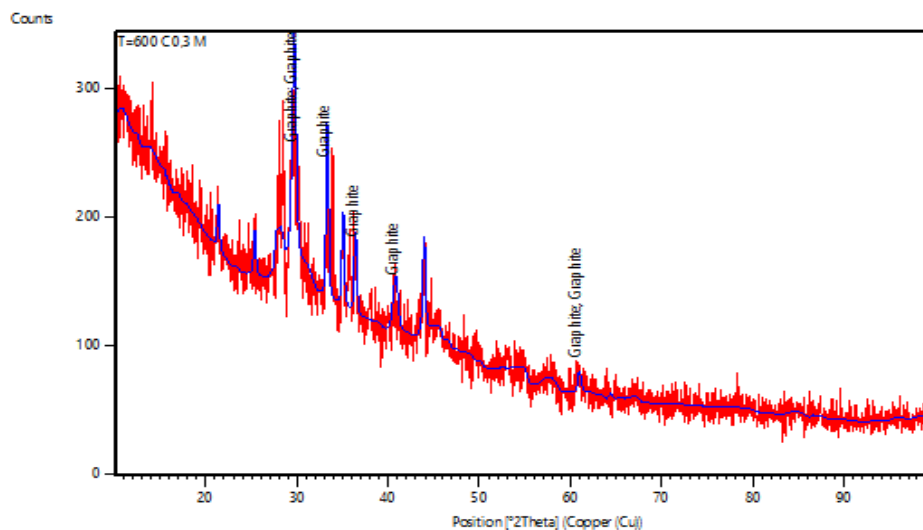
#### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	T=600 C 0,3 M
File name:	E:\ANALISA DATA 2021\01.29. FIKRI\T=600 C 0,3 M\T=600 C 0,3 M.xrdml
Comment:	sampel serbuk Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:30:22 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1 Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={E5BDE97F-80AA-4E79-B201-4505C5986C1C} Gonio (sampel serbuk) 17/12/2020 12:41:34 User XRD measurement (*.XRDML) Gonio
Measurement Date / Time:	10.0131
Operator:	99.9731
Raw Data Origin:	0.0260
Scan Axis:	7.1400
Start Position [°2Th.]:	Continuous
End Position [°2Th.]:	Scanning
Step Size [°2Th.]:	3.35
Scan Step Time [s]:	0.0000
Scan Type:	Fixed
PSD Mode:	0.8709
PSD Length [°2Th.]:	10.00
Offset [°2Th.]:	25.00
Divergence Slit Type:	Cu
Divergence Slit Size [°]:	1.54060
Specimen Length [mm]:	1.54443
Measurement Temperature [°C]:	1.39225
Anode Material:	0.50000
K-Alpha1 [Å]:	30 mA, 40 kV
K-Alpha2 [Å]:	0000000011130968
K-Beta [Å]:	0
K-A2 / K-A1 Ratio:	240.00
Generator Settings:	100.00
Diffractometer Type:	No
Diffractometer Number:	No
Goniometer Radius [mm]:	No
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	No
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No





## Graphics



### Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3757	24.49	0.3070	4.15694	19.99
25.3527	24.85	0.3070	3.51315	20.28
29.6639	122.51	0.5117	3.01165	100.00
33.2937	96.72	0.3070	2.69115	78.95
35.0342	52.38	0.3070	2.56133	42.75
36.3892	45.86	0.3070	2.46901	37.44
40.7719	29.68	0.6140	2.21316	24.23
43.8893	54.68	0.3070	2.06293	44.64
60.9121	12.16	0.4093	1.52095	9.93

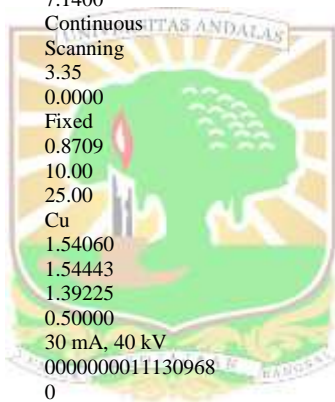
### Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	98-008-8812	1	Graphite	0.000	1.632	C1
	98-008-8813	3	Graphite	0.000	2.131	C1
	98-008-8814	No Matc	Graphite	0.000	0.000	C1

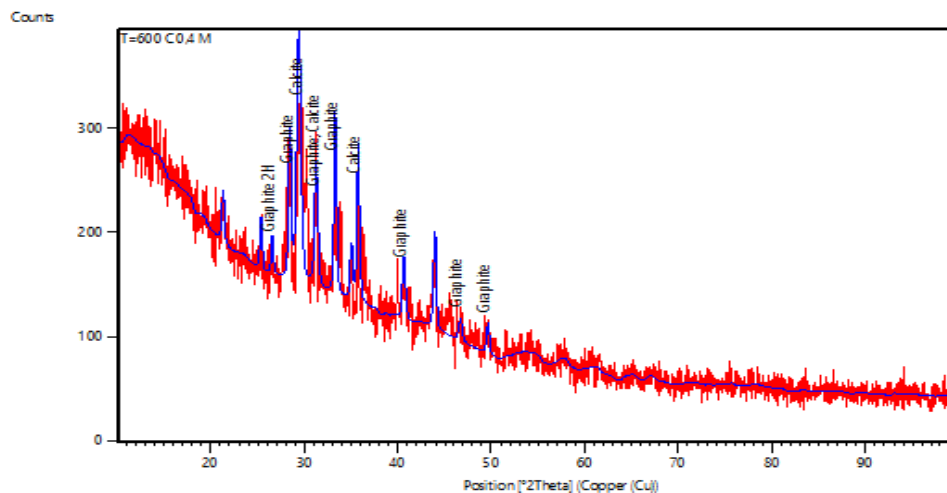
## 2. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,4 M 600° C

### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	T=600 C 0,4 M
File name:	E:\ANALISA DATA 2021\01.29. FIKRI\T=600 C 0,4 M\T=600 C 0,4 M.xrdml
Comment:	sampel serbuk Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:30:22 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1 Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={E5BDE97F-80AA-4E79-B201-4505C5986C1C} Gonio (sampel serbuk)
Measurement Date / Time:	17/12/2020 12:48:54
Operator:	User
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0131
End Position [°2Th.]:	99.9731
Step Size [°2Th.]:	0.0260
Scan Step Time [s]:	7.1400
Scan Type:	Continuous
PSD Mode:	Scanning
PSD Length [°2Th.]:	3.35
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.8709
Specimen Length [mm]:	10.00
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	0000000011130968
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	100.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No



## Graphics



## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.2994	33.91	0.3070	4.17165	20.55
25.3560	36.17	0.3070	3.51270	21.92
26.5487	26.28	0.3070	3.35753	15.92
28.4412	97.68	0.3070	3.13828	59.18
29.3910	165.05	0.5117	3.03899	100.00
31.2470	83.76	0.4093	2.86259	50.75
33.2846	124.02	0.3070	2.69186	75.14
35.0152	37.71	0.3070	2.56268	22.85
35.7411	109.14	0.3070	2.51228	66.13
40.6299	43.86	0.3582	2.22057	26.57
43.9127	68.87	0.3070	2.06188	41.73
46.6532	15.31	0.4093	1.94695	9.28
49.5992	23.39	0.3070	1.83799	14.17

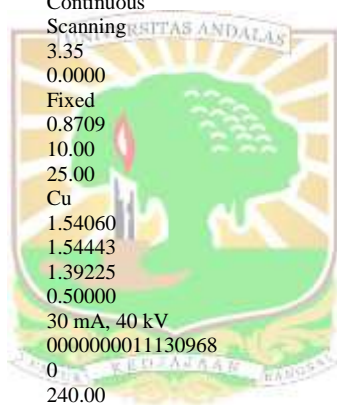
## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
98-007-6767	10		Graphite 2H	0.000	0.144	C1
98-008-8812	1		Graphite	0.000	2.820	C1
98-008-8813	2		Graphite	0.000	2.197	C1
98-008-8814	Unmatch		Graphite	0.000	2.536	C1
98-001-8166	11		Calcite	0.000	0.996	C1 Ca1 O3

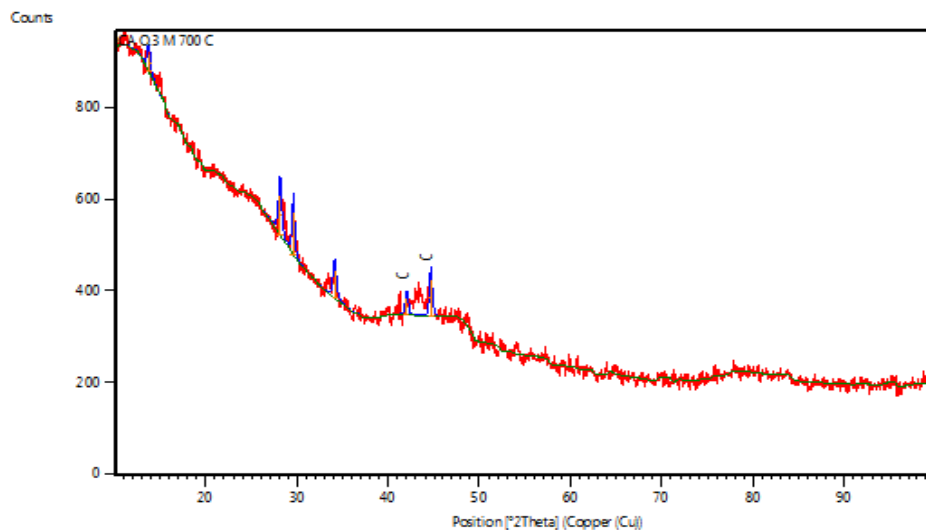
### 3. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,3 M 700° C

#### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	CA O.3 M 700 C
File name:	D:\XRD data\DATA HASIL PENGUKURAN\2018\7. JULI\25 JULI 2018\CA O.3 M 700 C\CA O.3 M 700 C.xrdml
Comment:	sampel serbuk Configuration=Flat Sample Stage, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:29:05 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=PW3071/xx Bracket Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={3B19DC4D-75D8-487E-AF62-667F0533378F} Gonio (sampel serbuk)
Measurement Date / Time:	7/25/2018 10:50:21 AM
Operator:	User
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0181
End Position [°2Th.]:	99.9781
Step Size [°2Th.]:	0.0260
Scan Step Time [s]:	7.1400
Scan Type:	Continuous
PSD Mode:	Scanning
PSD Length [°2Th.]:	3.35
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.8709
Specimen Length [mm]:	10.00
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	0000000011130968
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	100.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No

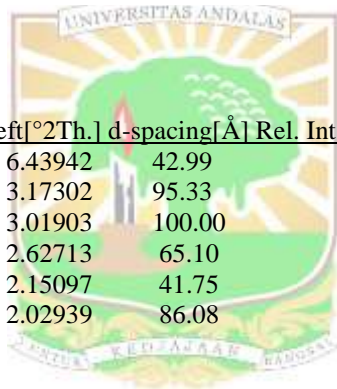


## Graphics



## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHM	Left[°2Th.]	d-spacing[Å]	Rel. Int. [%]
13.7521	39.54	0.4093	6.43942	42.99	
28.1233	87.68	0.4093	3.17302	95.33	
29.5897	91.98	0.3070	3.01903	100.00	
34.1294	59.88	0.4093	2.62713	65.10	
42.0057	38.40	0.3582	2.15097	41.75	
44.6532	79.17	0.3070	2.02939	86.08	



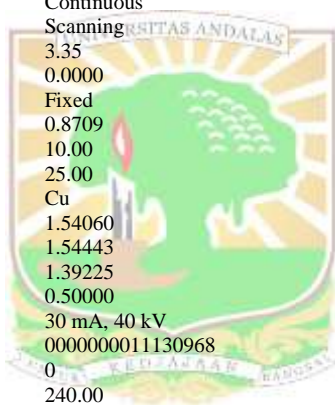
## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	01-089-8487	1	Carbon	0.000	4.186	C

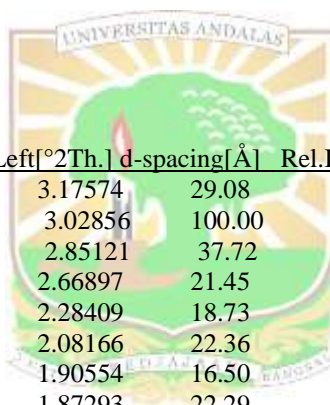
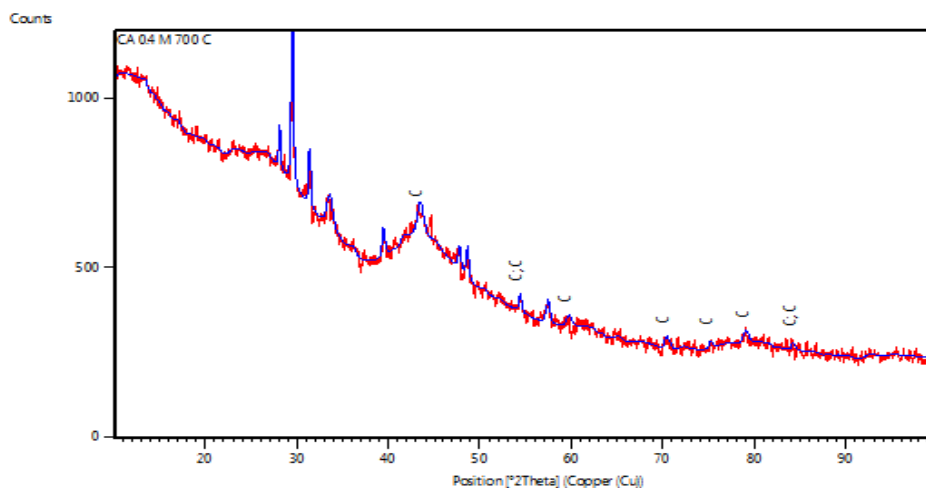
#### 4. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,4 M 700° C

##### Anchor Scan Parameters

Dataset Name: CA 0.4 M 700 C  
File name: D:\XRD data\DATA HASIL PENGUKURAN\2018\7. JULI\25 JULI 2018\CA 0.4 M 700 C\CA 0.4 M 700 C.xrdml  
Comment: sampel serbuk  
Configuration=Flat Sample Stage, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:29:05 PM  
Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001  
Sample stage=PW3071/xx Bracket  
Diffractometer system=XPERT-PRO  
Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={3B19DC4D-75D8-487E-AF62-667F0533378F}  
Gonio (sampel serbuk)  
Measurement Date / Time: 7/25/2018 10:54:17 AM  
Operator: User  
Raw Data Origin: XRD measurement (\*.XRDML)  
Scan Axis: Gonio  
Start Position [°2Th.]: 10.0181  
End Position [°2Th.]: 99.9781  
Step Size [°2Th.]: 0.0260  
Scan Step Time [s]: 7.1400  
Scan Type: Continuous  
PSD Mode: Scanning  
PSD Length [°2Th.]: 3.35  
Offset [°2Th.]: 0.0000  
Divergence Slit Type: Fixed  
Divergence Slit Size [°]: 0.8709  
Specimen Length [mm]: 10.00  
Measurement Temperature [°C]: 25.00  
Anode Material: Cu  
K-Alpha1 [Å]: 1.54060  
K-Alpha2 [Å]: 1.54443  
K-Beta [Å]: 1.39225  
K-A2 / K-A1 Ratio: 0.50000  
Generator Settings: 30 mA, 40 kV  
Diffractometer Type: 0000000011130968  
Diffractometer Number: 0  
Goniometer Radius [mm]: 240.00  
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]: 100.00  
Incident Beam Monochromator: No  
Spinning: No



## Graphics



## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height[cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing[Å]	Rel.Int[%]
28.0988	93.23	0.2558	3.17574	29.08
29.4945	320.64	0.3070	3.02856	100.00
31.3749	120.96	0.2558	2.85121	37.72
33.5785	68.79	0.8187	2.66897	21.45
39.4524	60.05	0.3582	2.28409	18.73
43.4742	71.71	0.8187	2.08166	22.36
47.7291	52.90	0.3582	1.90554	16.50
48.6133	71.48	0.3070	1.87293	22.29
54.3751	42.34	0.3070	1.68730	13.21
57.4042	52.14	0.4093	1.60526	16.26
59.6906	26.75	0.7164	1.54912	8.34
70.3805	28.38	0.6140	1.33775	8.85
75.1384	19.38	0.3582	1.26441	6.04
79.0113	26.80	0.6140	1.21187	8.36
84.1787	20.00	0.3582	1.15016	6.24

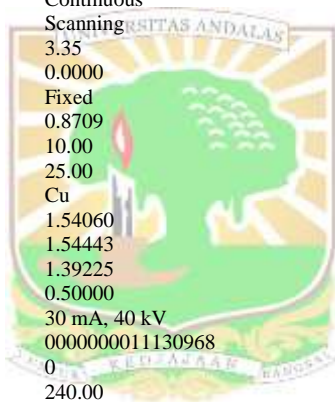
## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	01-073-5918	0	Carbon	0.000	1.584	C
	01-075-1621	0	Carbon	0.000	1.637	C
	01-075-2078	1	Graphite	0.000	1.021	C

## 5. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,4 M 800°C

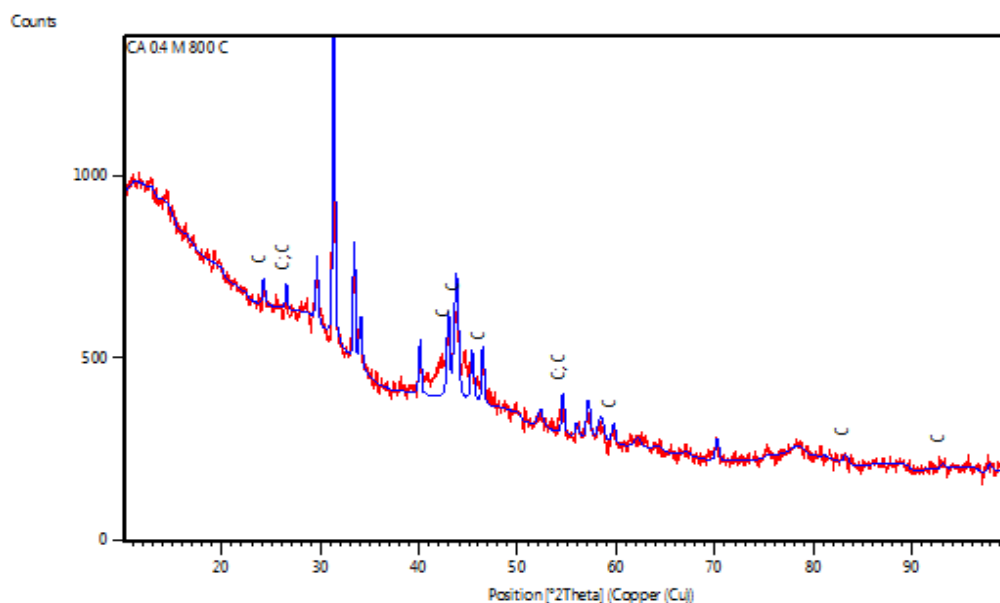
### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	CA 0.4 M 800 C
File name:	D:\XRD data\DATA HASIL PENGUKURAN\2018\7. JULI\25 JULI 2018\CA 0.4 M 800 C\CA 0.4 M 800 C.xrdml
Comment:	sampel serbuk Configuration=Flat Sample Stage, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:29:05 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=PW3071/xx Bracket Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={3B19DC4D-75D8-487E-AF62-667F0533378F} Gonio (sampel serbuk)
Measurement Date / Time:	7/25/2018 10:58:21 AM
Operator:	User
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0181
End Position [°2Th.]:	99.9781
Step Size [°2Th.]:	0.0260
Scan Step Time [s]:	7.1400
Scan Type:	Continuous
PSD Mode:	Scanning
PSD Length [°2Th.]:	3.35
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.8709
Specimen Length [mm]:	10.00
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	0000000011130968
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	100.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No





## Graphics



## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing[Å]	Rel.Int. [%]
24.2231	53.53	0.2558	3.67435	8.86
26.5130	51.79	0.2558	3.36197	8.57
29.622	133.93	0.2558	3.01575	22.16
31.3361	604.30	0.2558	2.85465	100.00
33.3963	253.85	0.1791	2.68311	42.01
34.0783	99.65	0.3070	2.63096	16.49
40.0749	114.86	0.2558	2.25003	19.01
42.9188	169.32	0.3070	2.10730	28.02
43.7373	243.13	0.4605	2.06974	40.23
45.360	102.42	0.3582	1.99937	16.95
46.4311	124.35	0.2558	1.95574	20.58
52.2657	35.55	0.6140	1.75032	5.88
54.5490	89.66	0.2558	1.68234	14.84
55.9494	28.86	0.3582	1.64350	4.78
57.1211	78.45	0.4093	1.61255	12.98
58.3877	49.77	0.6140	1.58055	8.24
59.6883	43.88	0.4093	1.54918	7.26
62.0948	18.65	0.8187	1.49480	3.09
70.1637	53.70	0.3070	1.34135	8.89
83.2166	19.86	0.5117	1.16099	3.29
93.0101	13.99	0.4093	1.06272	2.31
97.7881	19.76	0.4093	1.02315	3.27

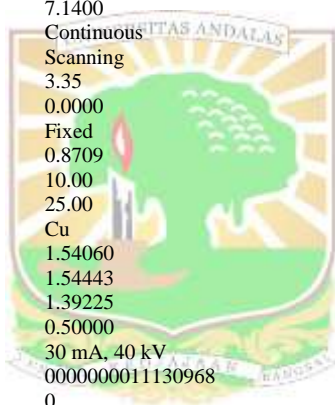
## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	00-001-0646	12	Carbon	0.000	0.118	C
	00-002-0456	3	Carbon	0.000	0.114	C

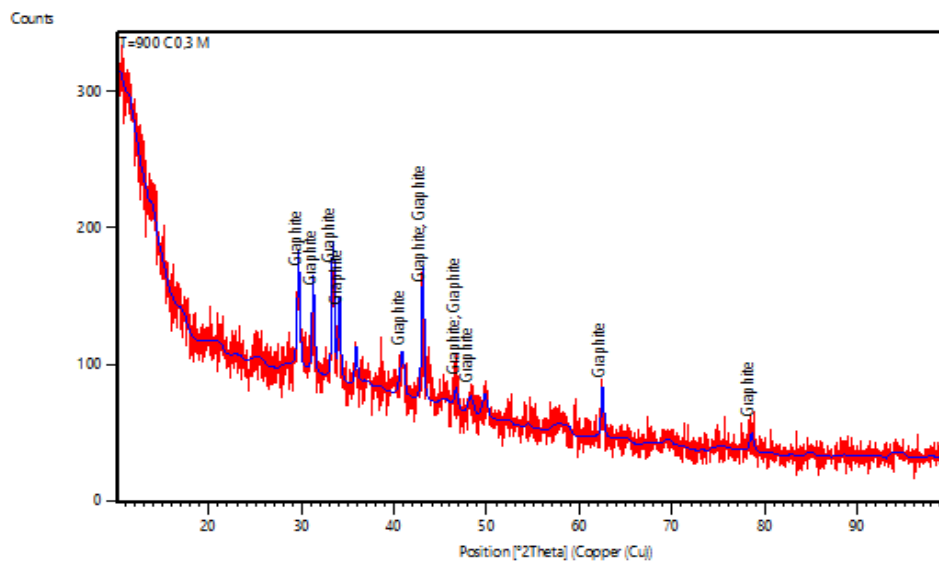
## 6. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,3 M 900°C

### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	T=900 C 0,3 M
File name:	E:\ANALISA DATA 2021\01.29. FIKRI\T=900 C 0,3 M\T=900 C 0,3 M.xrdml
Comment:	sampel serbuk Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:30:22 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1 Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={E5BDE97F-80AA-4E79-B201-4505C5986C1C} Gonio (sampel serbuk)
Measurement Date / Time:	17/12/2020 13:11:51
Operator:	User
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0131
End Position [°2Th.]:	99.9731
Step Size [°2Th.]:	0.0260
Scan Step Time [s]:	7.1400
Scan Type:	Continuous
PSD Mode:	Scanning
PSD Length [°2Th.]:	3.35
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.8709
Specimen Length [mm]:	10.00
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type:	0000000011130968
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	100.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No



## Graphics



## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
29.6441	60.27	0.3070	3.01361	83.19
31.2473	50.79	0.3070	2.86256	70.10
33.3807	72.09	0.3070	2.68433	99.51
34.0836	42.91	0.3070	2.63056	59.23
35.8608	19.32	0.3070	2.50417	26.67
40.8247	22.44	0.5117	2.21042	30.98
43.0506	72.44	0.3070	2.10115	100.00
46.6555	10.47	0.4093	1.94686	14.45
48.1831	9.96	0.7164	1.88865	13.75
49.7472	12.89	0.6140	1.83287	17.80
62.4383	29.86	0.3070	1.48740	41.22
78.5040	10.77	0.4093	1.21843	14.86

## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	98-008-8811	No Matc	Graphite	0.000	0.000	C1
	98-008-8813	1	Graphite	0.000	1.285	C1

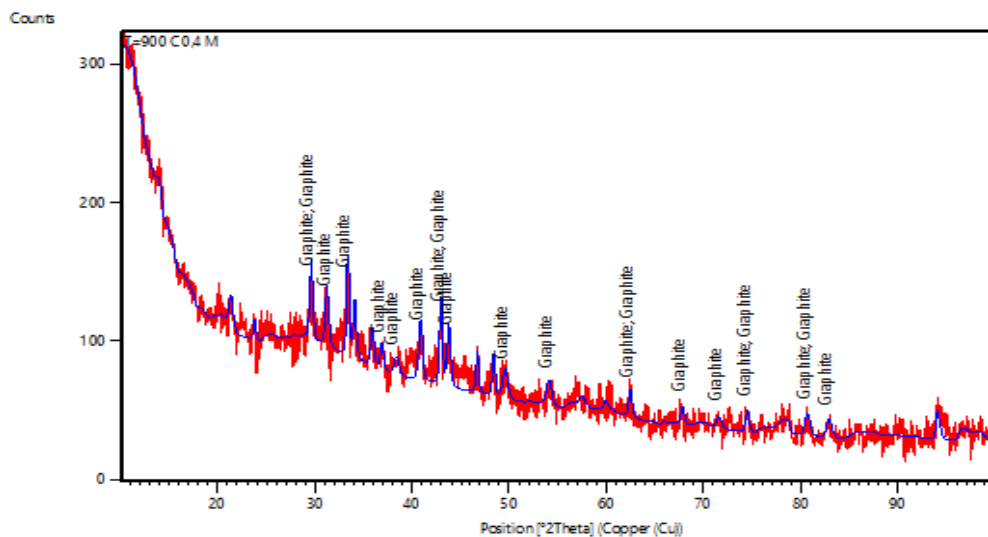
## 7. Data Hasil XRD Karbon Kulit Buah Kakao Sampel 0,4 M 900°C

### Anchor Scan Parameters

Dataset Name:	T=900 C 0,4 M
File name:	E:\ANALISA DATA 2021\01.29. FIKRI\T=900 C 0,4 M\T=900 C 0,4 M.XRDML
Comment:	sampel serbuk Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=9/5/2012 12:30:22 PM Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001 Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1 Diffractometer system=XPERT-PRO Measurement program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\program 1.xrdmp, Identifier={E5BDE97F-80AA- 4E79-B201-4505C5986C1C} Gonio (sampel serbuk) 17/12/2020 20:27:56
Measurement Date / Time:	17/12/2020 20:27:56
Operator:	X-RAY DIFFRACTOMETER
Raw Data Origin:	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis:	Gonio
Start Position [°2Th.]:	10.0130
End Position [°2Th.]:	99.9730
Step Size [°2Th.]:	0.0260
Scan Step Time [s]:	7.1400
Scan Type:	Continuous
Offset [°2Th.]:	0.0000
Divergence Slit Type:	Fixed
Divergence Slit Size [°]:	0.8710
Specimen Length [mm]:	10.00
Receiving Slit Size [mm]:	0.1000
Measurement Temperature [°C]:	25.00
Anode Material:	Cu
K-Alpha1 [Å]:	1.54060
K-Alpha2 [Å]:	1.54443
K-Beta [Å]:	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio:	0.50000
Generator Settings:	30 mA, 40 kV
Diffractometer Number:	0
Goniometer Radius [mm]:	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]:	91.00
Incident Beam Monochromator:	No
Spinning:	No



## Graphics



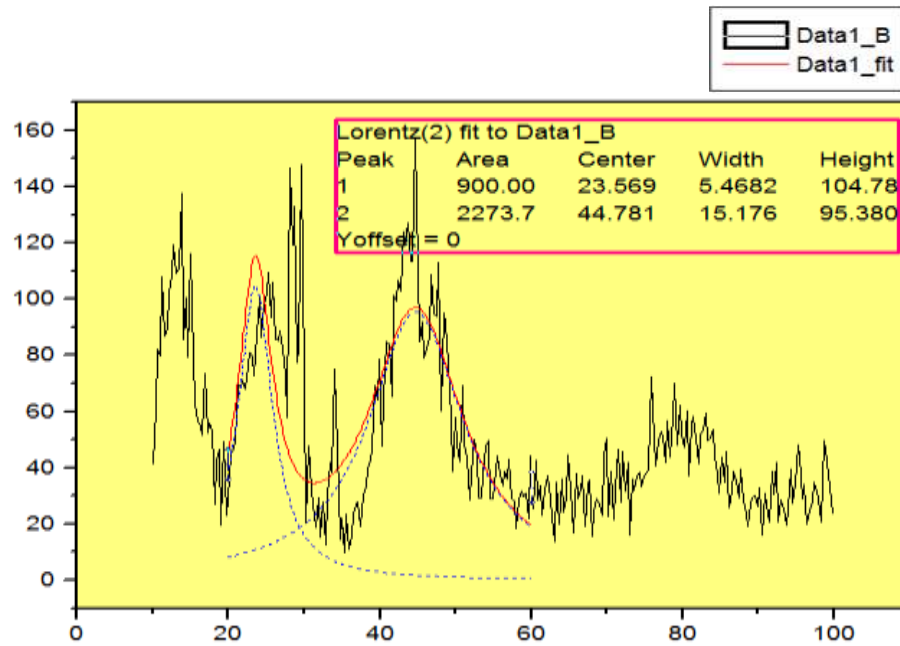
## Peak List

Pos.[°2Th.]	Height [cts]	FWHMLeft[°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3504	16.44	0.5117	4.16180	31.90
23.7926	10.86	0.3070	3.73986	21.07
29.6070	40.79	0.3582	3.01731	79.13
31.2306	31.37	0.4093	2.86405	60.86
33.3705	51.54	0.3070	2.68513	100.00
34.1051	29.69	0.3582	2.62895	57.59
35.8887	19.99	0.4093	2.50229	38.78
36.8683	14.35	0.4093	2.43802	27.84
38.3421	9.33	0.6140	2.34763	18.10
40.8605	31.10	0.4093	2.20856	60.34
42.9382	46.92	0.3070	2.10639	91.03
43.7380	32.10	0.3582	2.06971	62.28
46.6848	22.82	0.3070	1.94570	44.27
48.3559	23.31	0.3070	1.88230	45.22
49.5395	15.53	0.6140	1.84007	30.12
54.0474	13.13	0.6140	1.69676	25.47
62.4234	15.75	0.4093	1.48772	30.55
67.7826	11.35	0.3582	1.38255	22.02
71.5023	6.64	0.5117	1.31950	12.87
74.4490	12.97	0.4093	1.27440	25.16
80.6141	12.66	0.5117	1.19177	24.55
82.8518	10.36	0.6140	1.16517	20.10
94.0418	20.69	0.3070	1.05376	40.13

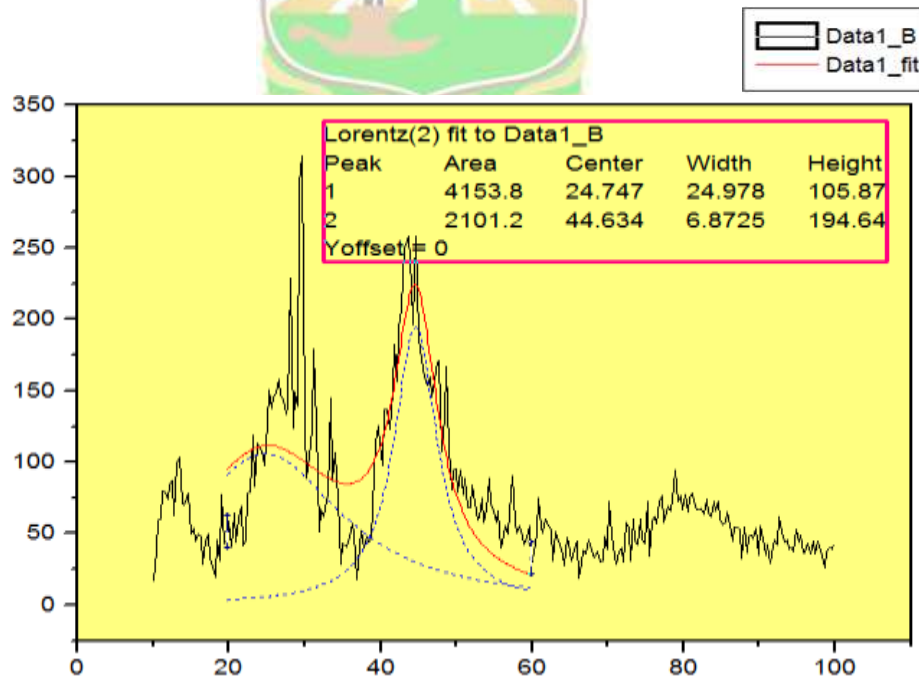
## Pattern List

Visible	Ref.Code	Score	Compound Name	Displ.[°2Th]	Scale Fac.	Chem. Formula
	98-008-8812	0	Graphite	0.000	3.607	C1
	98-008-8813	No Matc	Graphite	0.000	0.000	C1

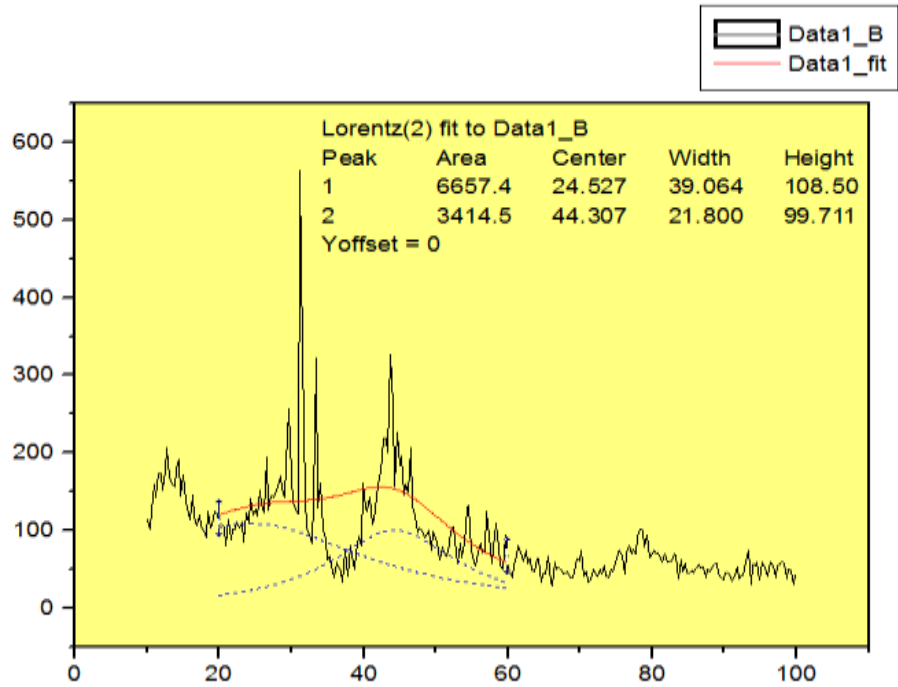
8. Kurva Difraksi sinar-X Kulit Buah kakao 0,3 M 700°C



9. Kurva Difraksi sinar-X Kulit Buah kakao 0,4 M 700°C



### 10. Kurva Difraksi sinar-X Kulit Buah kakao 0,4 M 800°C



## LAMPIRAN 9

### Perhitungan data Parameter Difraksi Sinar-X

Kode sampel	2θ	θ	rad	sin θ rad	sin <sup>2</sup> θ rad	l	h	k	l	d	h <sup>2</sup>	k <sup>2</sup>	l <sup>2</sup>	a
600 °C 0.3 M	29.6639	14.83195	0.2588664	0.2559849	0.0655282	1.5406	1	1	1	3.01165	1	1	1	5.2163308
	33.2937	16.64685	0.2905423	0.2864719	0.0820661	1.5406	0	2	0	2.69115	0	4	0	5.3823
600 °C 0.4 M	29.391	14.6955	0.2564849	0.253682	0.0643545	1.5406	1	0	4	3.03899	1	0	16	12.530077
	33.284	16.642	0.2904577	0.2863908	0.0820197	1.5406	0	2	0	2.69186	0	4	0	5.38372
700 °C 0.3 M	28.1233	14.06165	0.2454221	0.2429658	0.0590324	1.5406	1	1	1	3.17302	1	1	1	5.4958319
	29.5897	14.79485	0.2582188	0.2553589	0.0652081	1.5406	1	1	1	3.01903	1	1	1	5.2291133
700 °C 0.4 M	29.4921	14.74605	0.2573671	0.2545353	0.0647882	1.5406	1	0	4	3.0263	1	0	16	12.477755
	31.3901	15.69505	0.2739303	0.2705173	0.0731796	1.5406	1	1	1	2.8521	1	1	1	4.9399821
800 °C 0.4 M	31.3361	15.68745	0.2737977	0.2703896	0.0731105	1.5406	1	1	1	2.85121	1	1	1	4.9384406
	33.5785	16.78925	0.2930277	0.2888522	0.0834356	1.5406	0	2	0	2.66897	0	4	0	5.33794
900 °C 0.4 M	29.6431	14.82155	0.2586848	0.2558094	0.0654384	1.5406	1	1	1	3.0112	1	1	1	5.2155514
	33.3807	16.69035	0.2913016	0.2871992	0.0824834	1.5406	0	2	0	2.68433	0	4	0	5.36866
900 °C 0.4 M	29.607	14.8035	0.2583698	0.2555048	0.0652827	1.5406	1	1	1	3.01731	1	1	1	5.2261342
	33.3705	16.68525	0.2912125	0.2871139	0.0824344	1.5406	0	2	0	2.68513	0	4	0	5.37026



## LAMPIRAN 10 DATA UJI BET

### 1. Grafik isotherm BET 0,4 M suhu 700°C

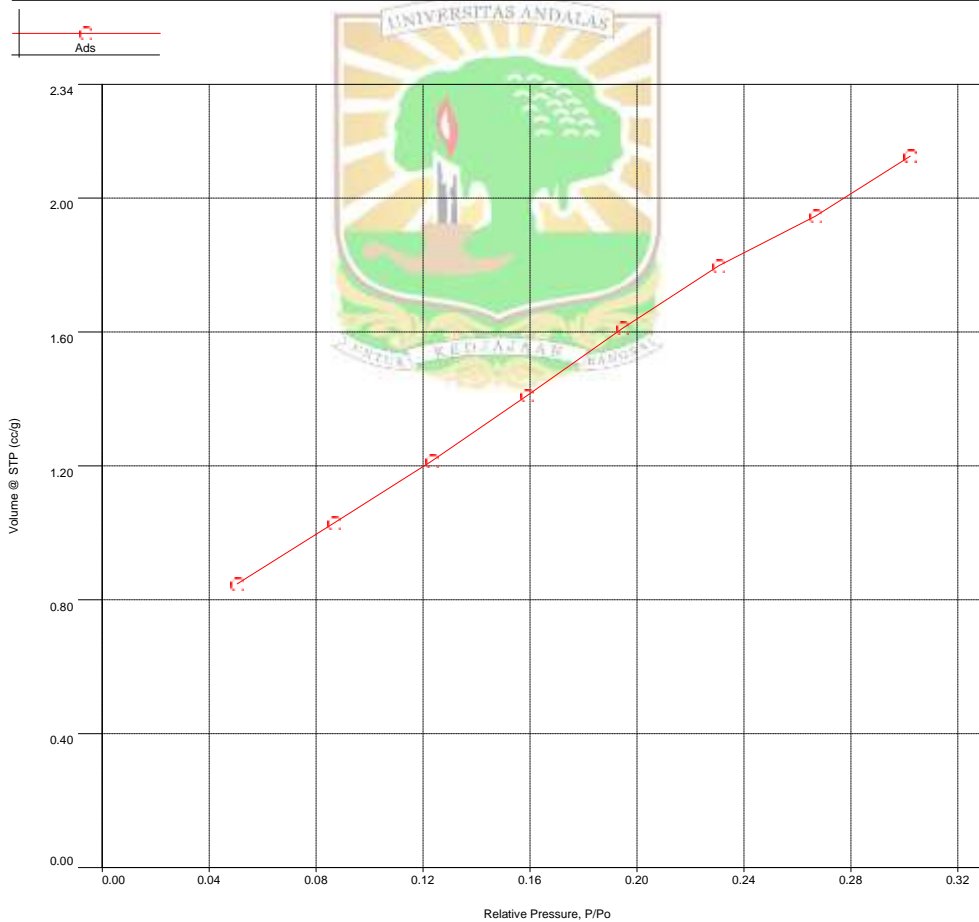


Laboratorium ILRC  
Universitas Indonesia  
Quantachrome QuadraWin ©2000-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved. v7.1

<b>Analysis</b>			<b>Report</b>
Operator:	Admin	Date: 4/11/2022	Operator: Admin
Sample ID:	IP	Filename:	700 C 0,4 M_220411_01.QPS
Sample Desc:	serbuk	Comment:	
Sample weight:	0.0545 g	Sample Volume:	0.0430 cc
Analysis Time:	103.7 min	End of run:	4/11/2022 5:49:27
Void Vol.:	Cell Cal. ID: 34	Run mode:	Standard
Outgas Time:	3.0 hrs	Outgas Temp:	300.0 C
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K
Press. Tolerance:	0.010/0.000 (ads/des)	Equil time:	120/0 sec (ads/des)
			Instrument: QuadraSorb Station 3
			Instrument version: 7.01
			Equil timeout: 240/0 sec (ads/des)

**Isotherm : Linear**

Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	Temperature	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section:	16.200 Å²
		Liquid Density:	0.808 g/cc



## 2. Data Isotherm BET pada sampel 0,4 M suhu 700 °C



DIREKTORAT RISET &  
PENGEMBANGAN

Laboratorium ILRC  
Universitas Indonesia

Quantachrome QuadraWin ©2000-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved. v7.1



<b>Analysis</b>		<b>Report</b>			
Operator:	Admin	Date:	4/11/2022	Operator:	Admin
Sample ID:	IP	Filename:	700 C 0,4 M_220411_01.QPS	Date:	2022/04/18
Sample Desc:	serbuk	Comment:			
Sample weight:	0.0545 g	Sample Volume:	0.0430 cc		
Analysis Time:	103.7 min	End of run:	4/11/2022 5:49:27	Instrument:	QuadraSorb Station 3
Void Vol.:	Cell Cal. ID: 34	Run mode:	Standard	Instrument version:	7.01
Outgas Time:	3.0 hrs	OutgasTemp:	300.0 C		
Analysis gas:	Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K		
Press. Tolerance:	0.010/0.000 (ads/des)	Equil time:	120/0 sec (ads/des)	Equil timeout:	240/0 sec (ads/des)

### Isotherm

#### Data Reduction Parameters Data

<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	<b>Temperature</b>	77.350K	<b>Liquid Density:</b>	0.808 g/cc
<b>Molec. Wt.:</b>	28.013	<b>Cross Section:</b>	16.200 Å <sup>2</sup>		

#### Isotherm Data

Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]	Relative Pressure	Volume @ STP [cc/g]
5.04918e-02	0.8474	1.58967e-01	1.4102	2.66746e-01	1.9461
8.66964e-02	1.0291	1.94610e-01	1.6111	3.02196e-01	2.1250
1.23217e-01	1.2146	2.30547e-01	1.7977		

### 3. Grafik Multiple BET pada sampel 0,4 M suhu 700 °C

<b>Analysis Operator:</b> Admin	<b>Date:</b> 4/11/2022	<b>Report Operator:</b> Admin	<b>Date:</b> 2022/04/18
<b>Sample ID:</b> IP	<b>Filename:</b> 700 C 0,4 M_220411_01.QPS		
<b>Sample Desc:</b> serbuk	<b>Comment:</b>		
<b>Sample weight:</b> 0.0545 g	<b>Sample Volume:</b> 0.0430 cc	<b>Instrument:</b> QuadraSorb Station 3	
<b>Analysis Time:</b> 103.7 min	<b>End of run:</b> 4/11/2022 5:49:27	<b>Instrument version:</b> 7.01	
<b>Void Vol.:</b> Cell Cal. ID: 34	<b>Run mode:</b> Standard		
<b>Outgas Time:</b> 3.0 hrs	<b>Outgas Temp:</b> 300.0 C		
<b>Analysis gas:</b> Nitrogen	<b>Bath Temp:</b> 77.3 K	<b>Equil timeout:</b> 240/0 sec (ads/des)	
<b>Press. Tolerance:</b> 0.010/0.000 (ads/des)	<b>Equil time:</b> 120/0 sec (ads/des)		

#### Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate model:</b> Nitrogen	<b>Molec. WL:</b> 28.013	<b>Temperature:</b> 77.350K	<b>Liquid Density:</b> 0.808 g/cc
		<b>Cross Section:</b> 16.200 Å²	



BET summary	
<b>Slope =</b>	431.872 1/g
<b>Intercept =</b>	3.492e+01 1/g
<b>Correlation coefficient, r =</b>	0.995779
<b>C constant =</b>	13.367
<b>Surface Area =</b>	7.461 m²/g

#### 4. Data Isotherm BET pada sampel 0,4 M suhu 700 °C



Laboratorium ILRC  
Universitas Indonesia  
Quantachrome QuadraWin ©2000-16, Quantachrome Instruments. All rights reserved. v7.1



<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
Operator:	Admin	Date:	4/11/2022
Sample ID:	IP	Operator:	Admin
Sample Desc:	serbuk	Filename:	700 C 0,4 M_220411_01.QPS
Sample weight:	0.0545 g	Comment:	
Analysis Time:	103.7 min	Sample Volume:	0.0430 cc
Void Vol.:	Cell Cal. ID: 34	End of run:	4/11/2022 5:49:27
Outgas Time:	3.0 hrs	Run mode:	Standard
Analysis gas:	Nitrogen	OutgasTemp:	300.0 C
Press. Tolerance:	0.010/0.000 (ads/des)	Bath Temp:	77.3 K
		Equil time:	120/0 sec (ads/des)
		Instrument:	QuadraSorb Station 3
		Instrument version:	7.01
		Equil timeout:	240/0 sec (ads/des)

#### Multi-Point BET

#### Data Reduction Parameters Data

<b>Adsorbate model</b>	Nitrogen	<b>Temperature</b>	77.350K
	Molec. Wt.: 28.013	<b>Cross Section:</b>	16.200 Å²
		<b>Liquid Density:</b>	0.808 g/cc

#### Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1/[W((Po/P) - 1)] [1/g]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1/[W((Po/P) - 1)] [1/g]
5.04918e-02	0.8474	5.0209e+01	1.94610e-01	1.6111	1.2000e+02
8.66964e-02	1.0291	7.3801e+01	2.30547e-01	1.7977	1.3335e+02
1.23217e-01	1.2146	9.2575e+01	2.66746e-01	1.9461	1.4956e+02
1.58967e-01	1.4102	1.0724e+02	3.02196e-01	2.1250	1.6306e+02

#### BET summary

Slope = 431.872 1/g  
Intercept = 3.492e+01 1/g  
Correlation coefficient, r = 0.995779  
C constant = 13.367  
Surface Area = 7.461 m²/g