



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERLAKUAN MEKANOKIMIA KERING PADA KARBON AKTIF ARANG  
BATOK UNTUK MEDIA PENYIMPAN HIDROGEN**

**SKRIPSI**

**TRYATMAJA MATARI**

**0806 332 042**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPOK**

**JANUARI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERLAKUAN MEKANOKIMIA KERING PADA KARBON AKTIF ARANG  
BATOK UNTUK MEDIA PENYIMPAN HIDROGEN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**TRYATMAJA MATARI**

**0806 332 042**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL**

**DEPOK**

**JANUARI 2011**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Tryatmaja Matari**

**NPM : 0806332042**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 13 Januari 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Tryatmaja Matari  
NPM : 0806 332 042  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Perlakuan Mekanokimia Kering pada Karbon Aktif Arang  
Batok untuk Media Penyimpan Hidrogen

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto

Penguji : Dr. Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng

Penguji : Dr. Awaludin Martin

Penguji : Ir. Yunita Sadeli, M.Sc

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 18 Januari 2011



## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 2) Dr. –Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku ketua Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- 3) Dr. –Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng, yang ikut memberikan arahan untuk tahapan uji adsorpsi.
- 4) Seluruh dosen dan staf pengajar, teknisi, dan staf Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI yang telah memberikan pengetahuan dan ilmu yang bermanfaat.
- 5) Orang tua dan keluarga saya yang senantiasa mendoakan saya, memberikan bantuan baik moril maupun materil.
- 6) Latifa Nuraini, Mia Diniati, dan Stefano Widy Y. selaku rekan kerja yang telah banyak membantu saya dalam penelitian ini.
- 7) Seluruh rekan-rekan Metalurgi dan Material 2008 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- 8) Seluruh rekan-rekan Departemen Teknik Mesin yang telah membantu dalam pengerjaan penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi semua pihak dalam pengembangan ilmu.

Depok, 13 Januari 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

**TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tryatmaja Matari  
NPM : 0806332042  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Perlakuan Mekanokimia Kering pada Karbon Aktif Arang Batok untuk Media Penyimpan Hidrogen**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengaihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 13 Januari 2012

Yang menyatakan



(Tryatmaja Matari)

## ABSTRAK

Nama : Tryatmaja Matari  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Perlakuan Mekanokimia Kering pada Karbon Aktif Arang Batok  
untuk Media Penyimpan Hidrogen

Studi terhadap perlakuan mekanokimia kering pada arang batok untuk mengembangkan material penyimpanan karbon dengan adsorpsi hidrogen yang lebih tinggi. Karbon aktif yang telah digiling selama 30 jam, dicampur dengan *activating agent* KOH dengan rasio 1:1 lalu dicuci dengan HCl 5M dan dibilas dengan akuades selanjutnya dibentuk menjadi pelet ( $\varnothing$  5 mm) dengan pengikat gula cair. Karbon aktif yang telah dibentuk pelet diuji kemampuan adsorbsinya pada temperatur  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan metode volumetrik. Tekanan yang diberikan berupa 250, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, dan 4000 kPa masing-masing selama 1 jam. Hasil pengujian dibandingkan dengan sampel awal terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi 1,20 %wt untuk suhu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan 1,13 %wt untuk suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  pada tekanan 4000 kPa.

Kata kunci: Penggilingan, arang batok, adsorpsi volumetrik isothermal, mekanokimia, pelet, *activating agent* KOH

## ABSTRACT

Name : Tryatmaja Matari  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Dry Mechanochemical Treatment on Coconut  
Charcoal-Based Activated Carbon for Hydrogen Storage

A study about dry mechanochemical treatment on coconut charcoal to develop a better material for hydrogen storage. After being milled for 30 hours, activated carbon was milled using KOH as activating agent with ratio of 1:1. After that, the sample was washed by HCl 5M and cleansed using aquades. After that, the sample was pelletized ( $\varnothing$  5 mm) with a commercial liquid sugar binder. Adsorption test is performed to characterize the sample adsorption capability with volumetric method. The pressures were set at 250, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, and 4000 kPa for 1 hour of adsorption period respectively. Reactivated sample compared to granular has a larger adsorption capability 1,20 %wt at 5 °C and 1,13 %wt at 25 °C on 4000 kPa.

Keywords: milling, coconut charcoal, isothermal volumetric adsorption, mechanochemical, pellet, activating agent KOH.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Ruang Lingkup .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 STUDI PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Karbon Aktif .....	5
2.2 Aktivasi Karbon Aktif.....	6
2.3 Penyimpanan Hidrogen .....	7
2.4 Proses Adsropsi.....	9
2.5 Proses Mekanokimia .....	12
2.6 Pembentukan Pelet Karbon Aktif.....	15
2.7 Metode Pengujian Adsorbsi .....	16
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2 Proses Mekanokima dengan <i>Planetary Ball Mill</i> (PBM).....	18
3.3 Proses Pencucian dan Pengeringan .....	19
3.4 Pembuatan Pelet.....	19
3.5 Karakterisasi Sampel .....	19

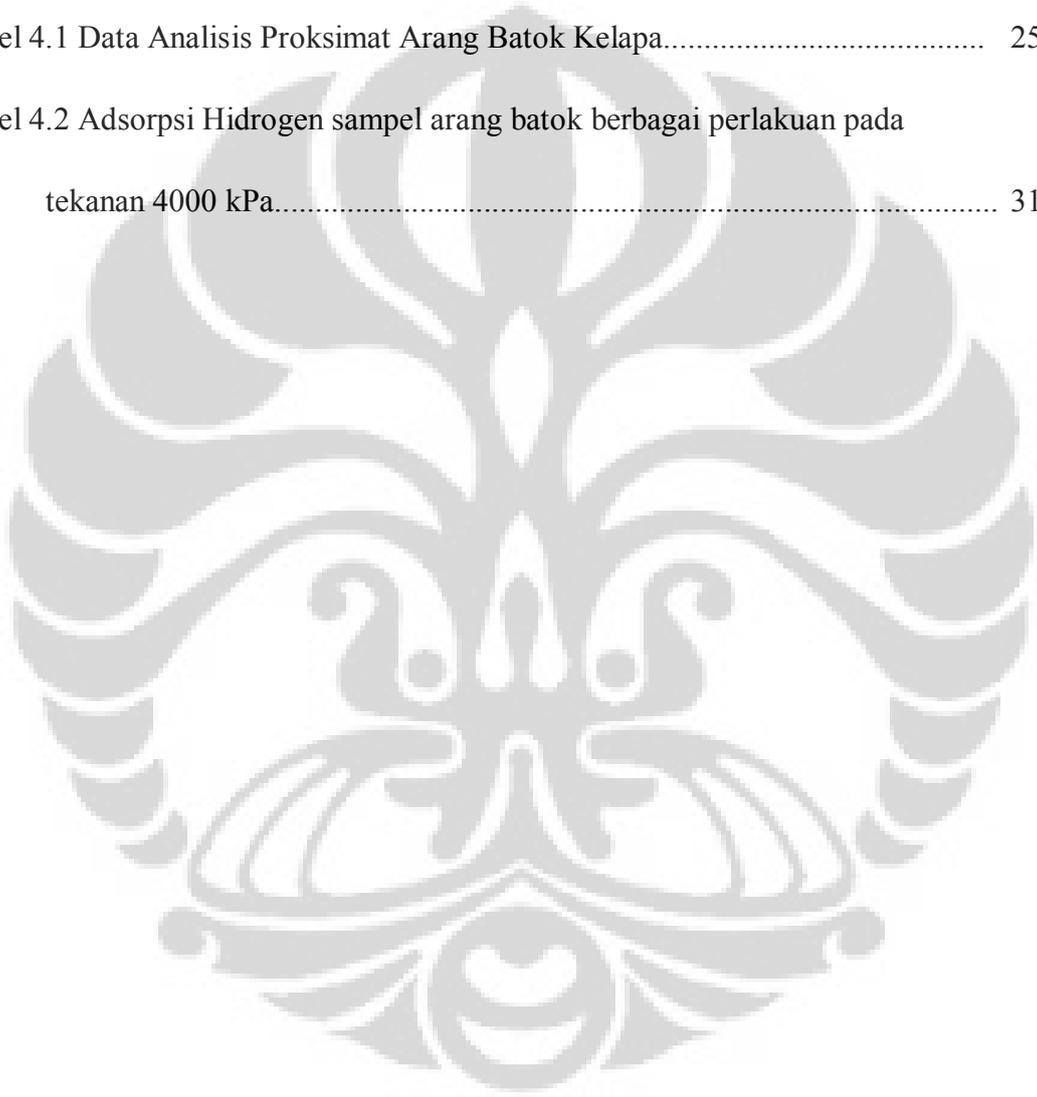
3.5.1 Analisa Material Dasar dengan Pengujian Proksimat.....	19
3.5.2 Analisa Ukuran Partikel dengan Particle Size Analyzer (PSA).....	20
3.5.3 Pengukuran Luas Permukaan Partikel dengan Uji Brunauer Emmett Teller (BET).....	20
3.5.4 Karakteristik Analisa Kristalinitas Struktur Permukaan Karbon Aktif dengan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	20
3.5.5 Karakteristik Analisa Morfologi Permukaan Karbon Aktif dengan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	21
3.5.6 Kapasitas Penyimpanan Hidrogen dengan Uji Adsorpsi Volumetrik.....	22
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>24</b>
4.1 Hasil Pengujian Kadar Tetap Karbon .....	24
4.2 Hasil Distribusi Ukuran Partikel dengan Particle Size Analyzer.....	25
4.3 Hasil Pengujian <i>Brunauer Emmett Teller</i> (BET).....	26
4.4 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	28
4.5 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	29
4.6 Hasil Pengujian Adsorpsi Hidrogen.....	31
4.6.1 Pengaruh Mekanokimia Kering terhadap Adsorpsi H <sub>2</sub> .....	31
4.6.2 Anomali penurunan Luas Permukaan dan Volume Pori terhadap Adsorpsi Hidrogen.....	33
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>35</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>36</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik pori pada Karbon .....	5
Gambar 2.2 Ilustrasi energi aktivasi yang dibutuhkan pada 2 tipe adsorpsi .....	10
Gambar 2.3 Ilustrasi 2 tipe adsorpsi .....	11
Gambar 2.4 Ilustrasi penggilingan material dalam <i>ball mill</i> .....	13
Gambar 2.5 Efek <i>milling</i> berupa jarak interlayer atom .....	14
Gambar 2.6 Jumlah desorpsi gas hidrogen dan metana dengan variabel waktu <i>milling</i> .....	15
Gambar 2.7 Pengukuran jarak <i>interlayer</i> atom dengan HRTEM.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
Gambar 3.2 Alat <i>Planetary Ball Mill</i> .....	18
Gambar 3.3 Skematik alat uji adsorpsi volumetrik .....	23
Gambar 4.1 Distribusi ukuran partikel sampel awal dan hasil penggilingan 30 jam .....	25
Gambar 4.2 Grafik Luas Permukaan, Diameter Pori, dan Volume Pori Arang Batok Kelapa.....	27
Gambar 4.3 Hasil XRD pada berbagai perlakuan.....	29
Gambar 4.4 Hasil SEM sampel karbon aktif arang batok.....	30
Gambar 4.5 Perbandingan Adsorpsi Sampel Awal dengan Sampel pelet setelah mekanokimia kering dan reaktivasi termal .....	32
Gambar 4.6 Anomali penurunan luas permukaan dan volume pori terhadap adsorpsi hidrogen .....	33

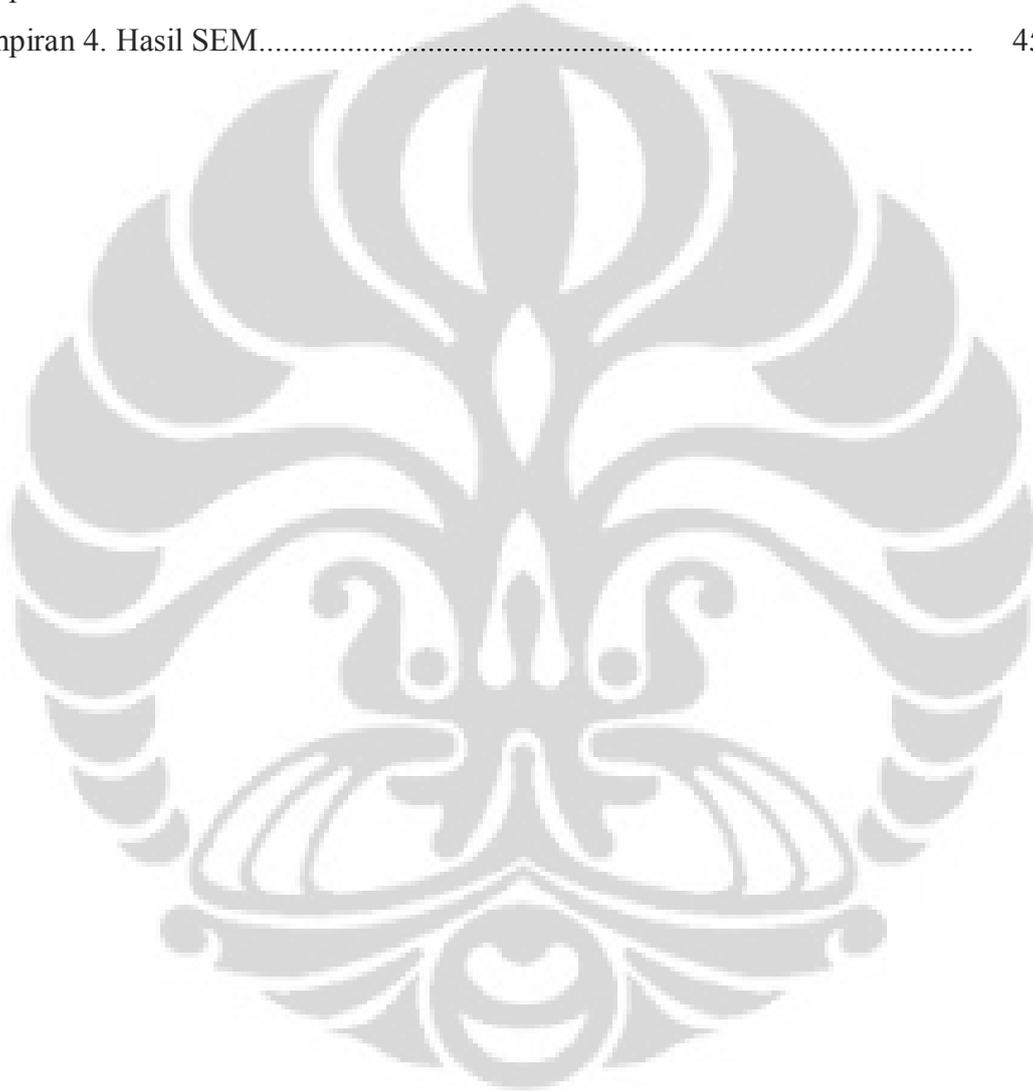
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Hidrogen.....	7
Tabel 4.1 Data Analisis Proksimat Arang Batok Kelapa.....	25
Tabel 4.2 Adsorpsi Hidrogen sampel arang batok berbagai perlakuan pada tekanan 4000 kPa.....	31



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Proksimat karbon aktif arang batok kelapa.....	38
Lampiran 2. Hasil BET.....	39
Lampiran 3. Hasil XRD.....	42
Lampiran 4. Hasil SEM.....	45



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Masalah utama yang dihadapi pada masa modern ini adalah masalah energi dan lingkungan. Seiring dengan penggunaan bahan bakar fosil yang mengakibatkan meningkatnya emisi karbon dioksida pada beberapa dekade terakhir, para peneliti berusaha mencari sumber energi alternatif terbaru yang bebas polusi dan efisien. Pencarian energi alternatif ini sangat berguna untuk sektor transportasi karena sektor transportasi sangat bergantung pada bahan bakar fosil untuk beraktifitas. Terdapat beberapa sumber energi alternatif yang sedang diteliti seperti energi solar yang memanfaatkan sinar matahari, energi hidrogen yang memanfaatkan gas hidrogen, *biofuel* yang berasal dari tanaman, energi nuklir yang memanfaatkan fusi dari atom, dan berbagai alternatif lainnya. Hidrogen sebagai salah satu sumber energi alternatif sedang diteliti untuk menggantikan bahan bakar fosil dalam sektor transportasi karena selain hidrogen ramah lingkungan karena hasil pembakarannya menghasilkan gas sisa berupa uap air bukan karbon dioksida.

Namun dibalik beberapa kelebihanannya, aplikasi langsung hidrogen masih terganjal oleh media penyimpanan yang baik. Beberapa metode penyimpanan telah dikembangkan seperti metode kompresi, pencairan dan metode penyimpanan padat. Metode kompresi dan pencairan memiliki kekurangan dalam praktik penyimpanannya yaitu tekanan yang tinggi (70 MPa untuk kompresi dan 1000 MPa untuk pencairan) serta temperatur penyimpanan yang spesifik untuk bekerja optimal seperti  $<252\text{ }^{\circ}\text{C}$  untuk pencairan [1].

Oleh karena itu, banyak penelitian dewasa ini yang difokuskan pada pengembangan material baru untuk penyimpanan hidrogen dalam media penyimpanan padat yang mudah untuk diaplikasikan, murah dan aman karena tidak memerlukan tekanan maupun suhu khusus ketika disimpan. Karbon

merupakan pilihan material yang baik karena memiliki kemampuan adsorpsi tinggi, porositas yang tinggi, massa jenis yang rendah dan murah [1,2].

Media yang memiliki ukuran diameter pori di bawah 2 nm merupakan ukuran ideal untuk penyimpanan gas hidrogen [2], hal ini mempengaruhi termodinamika, kinetika adsorpsi dan disosiasi. Selain ukuran cara aktivasi dari karbon-pun mempengaruhi hasil yang didapatkan. Penelitian-penelitian dewasa ini mayoritas mengaktivasi karbon dengan agen aktivasi seperti KOH dan NaOH yang berguna untuk membuka pori. Namun agar kinetika tersebut berjalan optimal diperlukan bantuan temperatur yang tinggi [3].

Melihat kondisi ini, maka penggunaan karbon aktif berukuran nano diperlukan untuk mendapatkan kapasitas penyimpanan yang optimal. Pencampuran karbon aktif dan *activating agent* dengan metode *ball-mill* merupakan sesuatu hal yang menarik dan diharapkan dapat meningkatkan jumlah mikropori yang terbentuk serta menghilangkan keperluan aktivasi secara termal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada menghasilkan adsorben karbon aktif yang berasal dari produk yang umum didapatkan di Indonesia seperti arang batok. Partikel nano dicapai dengan proses penggilingan. Setelah proses penggilingan tersebut karbon diaktivasi ulang dengan metode mekanokimia dengan mencampur arang batok ukuran nano dengan agen aktivasi berupa pelet KOH yang diharapkan dapat meningkatkan luas permukaan dan volume pori yang baik sehingga kemampuan adsorpsi dari karbon aktif lebih optimal. Proses mekanokimia dipilih sebagai alternatif dari proses aktivasi lain yang menggunakan energi lebih banyak seperti perlakuan panas untuk meningkatkan kinetika reaksi dengan KOH. Karbon aktif tersebut akan dibentuk menjadi pelet yang juga diharapkan akan meningkatkan kapasitas penyimpanan hidrogen.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Membuat karbon aktif berukuran nano dan submikron yang berasal dari arang batok komersial sebagai media penyimpanan hidrogen.
- b. Mengetahui efek mekanokimia terhadap variabel-variabel yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi hidrogen.
- c. Mengetahui karakteristik struktur dan morfologi partikel yang dihasilkan.
- d. Mengetahui kapasitas penyerapan karbon aktif dalam bentuk pelet dalam berbagai tekanan dan temperatur yang berbeda.

### 1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah menghasilkan adsorben karbon aktif yang berasal dari arang batok kelapa dengan melakukan proses mekanokimia pada suhu ambien dan kondisi tidak inert. Proses penggilingan dilakukan untuk memperbaiki densitas energi terhadap volume adsorpsi hidrogen yang berhubungan dengan luas permukaan karbon aktif dan proses mekanokimia dilakukan untuk membentuk mikropori yang berhubungan dengan kemampuan adsorpsi hidrogen.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan ini disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika dibentuk dalam bab-bab yang saling berkaitan. Bab-bab tersebut diantaranya :

#### a) Bab 1 Pendahuluan

Membahasan mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

#### b) Bab 2 Studi Pustaka

Membahas tentang hidrogen, karbon aktif, mekanisme adsorpsi, dan pembentukan pelet.

**c) Bab 3 Metodologi Penelitian**

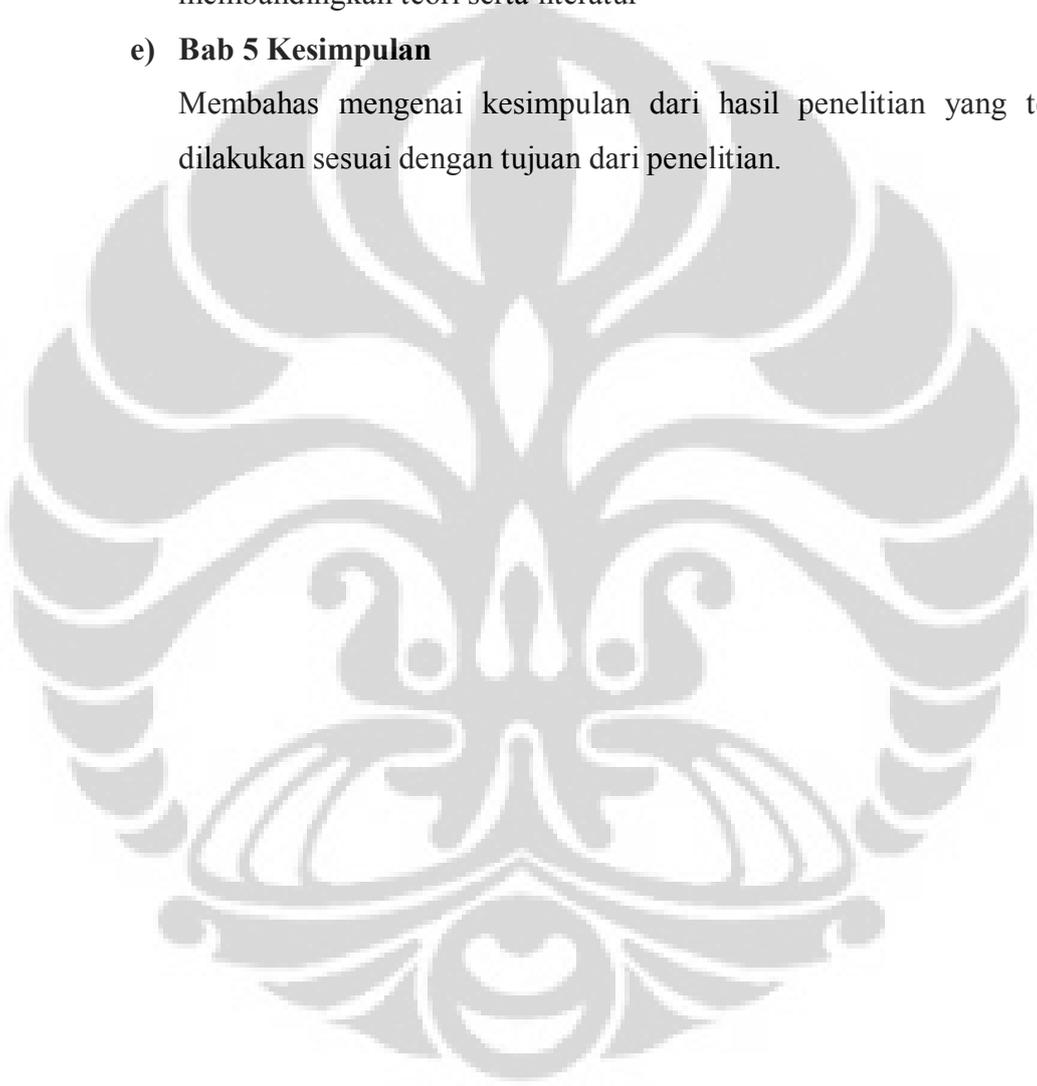
Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian, dan prosedur penelitian

**d) Bab 4 Hasil dan Pembahasan**

Membahas mengenai pengolahan data yang didapat dari penelitian dan pengujian baik berupa angka, gambar, grafik, dan membandingkan teori serta literatur

**e) Bab 5 Kesimpulan**

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian.



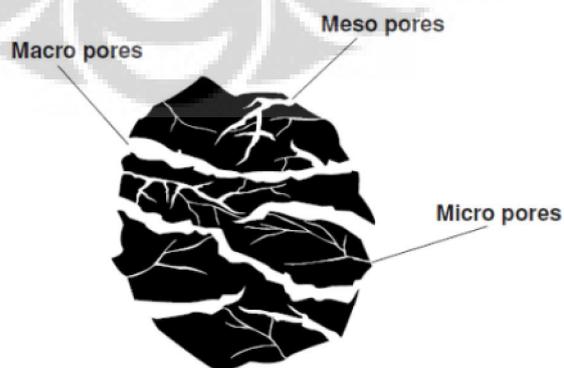
## BAB 2

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah porositas (ruang kosong) yang diselubungi oleh karbon atom [4]. Porositas memiliki ukuran sebesar molekul dan umumnya berbentuk celah. Karbon aktif dapat dibuat dari kayu, arang batok, dan batu bara yang memberikan karakteristik ukuran porositas yang berbeda satu sama lain. Karbon aktif umumnya digunakan untuk pemurnian air dan udara serta pemisahan campuran gas-gas. Pemilihan karbon aktif sebagai media penyimpanan hidrogen tidak lain karena kemampuan adsorpsinya yang tinggi, mikrostruktur berpori, densitas massa yang rendah, murah, dan mudah diproduksi. Karbon aktif adalah karbon yang telah melewati proses karbonisasi dan proses aktivasi. Proses karbonisasi bertujuan untuk menghilangkan zat *volatile* dan mengembangkan struktur pori sedangkan proses aktivasi dilakukan untuk membentuk pori-pori yang masih tertutup dan meningkatkan jumlah pori kecil yang terbentuk. Adapun pembagian jenis porositas berdasarkan ukurannya [4] dan ilustrasinya sebagai berikut:

- a. Mikroporositas dengan ukuran  $< 2,0$  nm dan dibagi lagi menjadi supermikropori (0,7 – 2,0 nm) dan ultramikropori ( $< 0,7$  nm).
- b. Mesoporositas 2,0 - 50 nm.
- c. Makroporositas  $> 50$  nm.



Gambar 2.1 Skematik pori pada karbon [5].

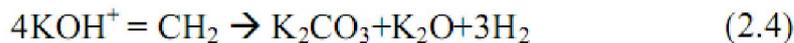
## 2.2 Aktivasi Karbon Aktif

Proses aktivasi dilakukan untuk memperbesar distribusi pori terutama mikropori sehingga luas permukaan karbon aktif akan menjadi besar. Proses aktivasi yang umum dilakukan pada pembuatan karbon aktif adalah sebagai berikut :

- a. Aktivasi fisika adalah gasifikasi selektif dari atom-atom karbon. Atom karbon dapat diambil dari dalam karbon berpori dengan gasifikasi menggunakan karbon dioksida atau uap air pada suhu 800-900 °C. Gas yang digunakan untuk gasifikasi akan menghasilkan porositas yang berbeda. Adapun reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



- b. Aktivasi kimia adalah aktivasi dengan cara impregnasi suatu zat kimia, *activating agent*, ke dalam karbon yang kemudian diaktifasi di dalam sebuah reaktor inert (umumnya nitrogen) sehingga terjadi peningkatan porositas secara maksimal dan terbentuknya ikatan ganda yang membuat ikatan antara karbon dan molekul adsorbat lebih kuat dibandingkan ikatan *van der waals*. Umumnya zat kimia yang digunakan adalah zink klorida, asam fosfat, natrium hidroksida dan kalium hidroksida. Berdasarkan studi yang dilakukan sebelumnya [6,7], menunjukkan bahwa porositas yang dihasilkan dengan aktivasi kimia menggunakan KOH lebih efektif dibandingkan dengan NaOH untuk menghasilkan volume mikropori dan luas permukaan yang baik. Berdasarkan studi-studi sebelumnya, perbandingan berat KOH dengan karbon aktif yang paling optimal adalah 4:1 [1,6,8] terlepas dari bahan baku yang digunakan. Contoh reaksi kimia yang terjadi dengan *activating agent* berupa KOH:



### 2.3 Penyimpanan Hidrogen

Hidrogen merupakan elemen teringan, bernomor atom 1 pada tabel periodik unsur, dengan isotop umumnya terdiri atas sebuah proton dan elektron. Secara umum, atom hidrogen tersedia dalam bentuk molekul  $\text{H}_2$  di alam dan ukurannya lebih kecil dibandingkan elemen-elemen lainnya. Hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, lebih ringan 14 kali dari udara sekitar dan berdifusi lebih cepat dibandingkan gas lainnya. Hidrogen berkondensasi menjadi cairan pada suhu  $-253^\circ\text{C}$  dan menjadi padatan pada  $-259^\circ\text{C}$ . Hidrogen juga memiliki kapasitas kalor tertinggi pada bentuk gas, yang memiliki diameter molekul sebesar  $2,8 \text{ \AA}$ , dibandingkan bentuk padatan maupun cairannya. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.1** Sifat-sifat Hidrogen [9]

Property	Value
Molecular weight	2.01594
Density of gas at $0^\circ\text{C}$ and 1 atm.	$0.08987 \text{ kg/m}^3$
Density of solid at $-259^\circ\text{C}$	$858 \text{ kg/m}^3$
Density of liquid at $-253^\circ\text{C}$	$708 \text{ kg/m}^3$
Melting temperature	$-259^\circ\text{C}$
Boiling temperature at 1 atm.	$-253^\circ\text{C}$
Critical temperature	$-240^\circ\text{C}$
Critical pressure	12.8 atm.
Critical density	$31.2 \text{ kg/m}^3$
Heat of fusion at $-259^\circ\text{C}$	$58 \text{ kJ/kg}$
Heat of vaporization at $-253^\circ\text{C}$	$447 \text{ kJ/kg}$
Thermal conductivity at $25^\circ\text{C}$	$0.019 \text{ kJ/(ms}^\circ\text{C)}$
Viscosity at $25^\circ\text{C}$	0.00892 centipoise
Heat capacity ( $C_p$ ) of gas at $25^\circ\text{C}$	$14.3 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$
Heat capacity ( $C_p$ ) of liquid at $-256^\circ\text{C}$	$8.1 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$
Heat capacity ( $C_p$ ) of solid at $-259.8^\circ\text{C}$	$2.63 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$

Source: Adapted from *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Fundamentals and Use of Hydrogen as a Fuel*. 3rd ed., Vol. 4, Wiley, New York, 1992, 631p.

Hidrogen merupakan bahan bakar dengan energi tertinggi per massa dibandingkan berbagai jenis bahan bakar lainnya. Sebagai contoh, hidrogen memiliki 3 kali energi dibandingkan bensin (140,4 MJ/kg dibandingkan dengan 48,6 MJ/kg) namun berdasarkan volume bensin memiliki 31.150 MJ/m<sup>3</sup> dibandingkan hidrogen cair dengan energi 8.491 MJ/m<sup>3</sup>. Rendahnya densitas volumetrik hidrogen inilah yang menjadi kendala pada sistem penyimpanannya, terutama untuk sistem yang portabel seperti kendaraan automotif. Berdasarkan angka tersebut, untuk menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar komersial sangat sulit dicapai karena kita harus memiliki tangki 3-4 kali lebih besar untuk mendapatkan melaju dengan jarak yang sama dan itu belum memperhitungkan kondisi penyimpanan hidrogen di bawah 252 °C untuk menjadi fase cair.

Salah satu faktor terpenting untuk penggunaan hidrogen skala komersial adalah tempat penyimpanan hidrogen. Masalah utama dari hidrogen adalah densitas gas yang rendah, dimana sebuah tangki bensin pada tekanan ambien ekuivalen dengan 3000 tangki gas hydrogen [9]. Berikut ini adalah berbagai cara penyimpanan hidrogen :

a. Kompresi

Kompresi merupakan salah satu pilihan yang paling menjanjikan pada jangka pendek dikarenakan teknologi pengisian ulang dan tempat penyimpanannya karena pengisiannya berdasarkan pada gradien tekanan. Kendala pengisian adalah ketika diisi, temperatur tanki akan meningkat dan setelah didinginkan sesuai dengan temperatur ambien, tekanan yang ada di dalam tanki akan lebih sedikit dibandingkan jumlah yang diisi karena ada faktor kompresibilitas (pemuaihan dan penyusutan seiring dengan berubahnya temperatur)

b. Pencairan

Dibandingkan dengan kompresi, densitas hidrogen yang telah dicarikan lebih tinggi. Di sisi lain untuk mendapatkan hal tersebut diperlukan teknologi yang lebih kompleks serta energi yang lebih banyak untuk menjaga kestabilan fasa cair pada temperatur didihnya (252 °C).

### c. Media Padat

Penyimpanan dengan media padat merupakan sebuah alternatif yang baik apabila kita memikirkan masalah portabilitas. Penyimpanan media padat dapat mengadsorpsi atau mengabsorpsi hidrogen lalu melepaskannya kemudian melalui pemanasan. Contoh penyimpanan media padat yang dapat ditemukan di pasaran adalah metal hidrida yang merupakan paduan dari logam. Studi menjelaskan bahwa kemampuan absorpsi metal hidrida adalah 5-7 %wt [10]. Adapun contoh lain seperti Volume penyimpanannya setengah dibandingkan tanki bensin ekuivalen, namun 20 kali lebih berat. Kemurnian dari hidrogen juga sangat berpengaruh karena media padat tak hanya menyerap hidrogen tetapi gas pengotor lain.

Setelah melihat penjelasan di atas dapat dilihat bahwa penyimpan hidrogen media padat masih memiliki peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga kemampuan adsorpsi bisa diaplikasikan untuk keperluan komersil.

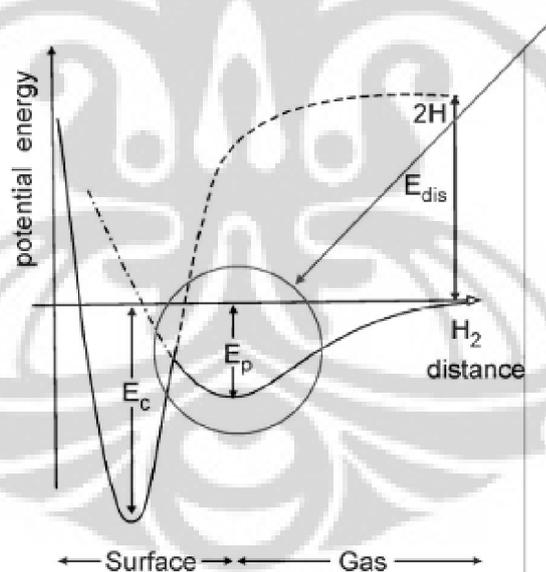
## 2.4 Proses Adsorpsi

Adsorpsi merupakan pelekatan atom, ion, molekul ke suatu permukaan. Proses ini membentuk permukaan tipis adsorbat, zat yang menempel, pada permukaan adsorben, tempat yang menjadi *host* dari adsorbat. Adsorpsi merupakan sebuah fenomena yang terjadi pada permukaan. Adsorben yang baik memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi dan cepat kinetika penyerapannya. Kriteria adsorben yang baik adalah memiliki luas permukaan atau volume pori yang tinggi serta memiliki jaringan pori yang besar sehingga molekul gas dapat masuk ke dalam adsorben [11]. Untuk memenuhi kriteria pertama maka adsorben harus memiliki diameter pori yang kecil, dalam ukuran mikroporositas dan mesopori, serta porositas dalam jumlah yang banyak sebagai situs tempat adsorbat masuk.

Berdasarkan jenis bagaimana adsorbat teradsorpsi ke dalam adsorben, adsorpsi dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Adsorpsi fisika

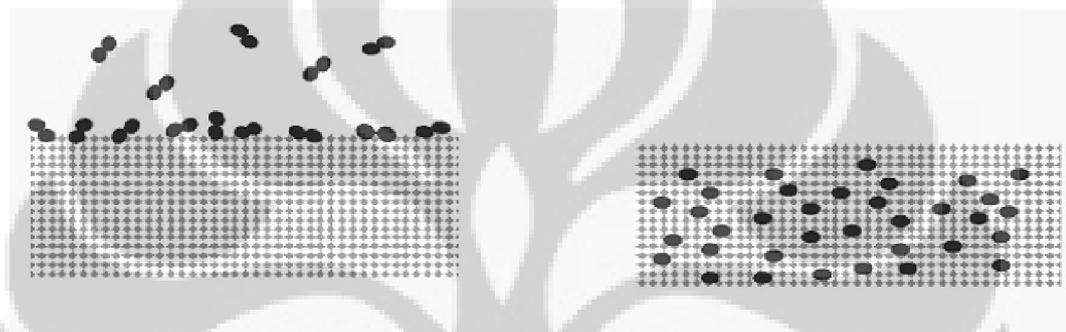
Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intermolekular lebih besar dari gaya intramolekular. Gaya intermolekular adalah gaya tarik menarik antara molekul-molekul dari sebuah zat sedangkan gaya intramolekular adalah gaya tarik menarik antara molekul adsorben dengan molekul adsorbat. Energi aktivasi untuk adsorpsi fisika umumnya tidak lebih dari 1 kkal/mol dibandingkan dengan energi aktivasi chemisorption 10 kkal/mol dan terjadi secara eksotermik. Karena pada adsorpsi fisika, adsorbat memiliki ikatan yang sangat lemah karena interaksi antara molekul adsorbat dengan atom adsorben sebatas gaya *van der waals* [12]. Namun adsorpsi jenis ini bersifat *reversible* sehingga proses pemisahan antara adsorbat dengan adsorbat mudah dilakukan.



**Gambar 2.2** Ilustrasi energi aktivasi yang dibutuhkan pada 2 tipe adsorpsi,  $E_p$ , energi aktivasi adsorpsi fisika, dan  $E_c$ , energi aktivasi adsorpsi kimia.[13]

b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia adalah jenis adsorpsi dimana adsorbat larut ke dalam adsorben dan membentuk ikatan kimia. Umumnya ikatan kimia yang terbentuk adalah ikatan kovalen atau ion antara molekul adsorbat dengan adsorben. Pada adsorpsi kimia, molekul adsorbat terikat sangat kuat dengan atom adsorben akibat reaksi kimia antara dua molekul. Hal ini membuat adsorpsi jenis ini bersifat *irreversible* sehingga pemisahan molekul sulit dilakukan.



Adsorpsi Fisika

Adsorpsi Kimia

1

$$\frac{x}{m} = f(p, T)$$

Dimana  $x/m$  adalah jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben. Sehingga kondisi adsorpsi juga dibedakan menjadi 3 jenis yakni:

a. Adsorpsi isoterml

Pada adsorpsi isoterml, temperatur dijaga konstan, dimana tekanan diubah-ubah sehingga nilai  $x/m$  merupakan fungsi dari tekanan saja.

b. Adsorpsi isobar

Adsorpsi isobar merupakan adsorpsi dengan tekanan yang konstan sehingga nilai  $x/m$  berdasarkan temperatur yang diubah.

c. Adsorpsi Isosterik

Adsorpsi Isosterik merupakan adsorpsi dengan  $x/m$  yang konstan dan temperatur divariasikan sehingga tekanan menjadi fungsi yang esensial untuk menjaga  $x/m$  konstan [15].

Berdasarkan sifatnya, adsorpsi fisika merupakan jenis adsorpsi yang cocok untuk media penyimpanan hidrogen karena sifat *reversible* membuat karbon aktif dapat dipakai berulang kali tanpa kehilangan kapasitasnya seiring dengan siklus pemakaian dan adsorpsi.

## 2.5 Proses Mekanokimia

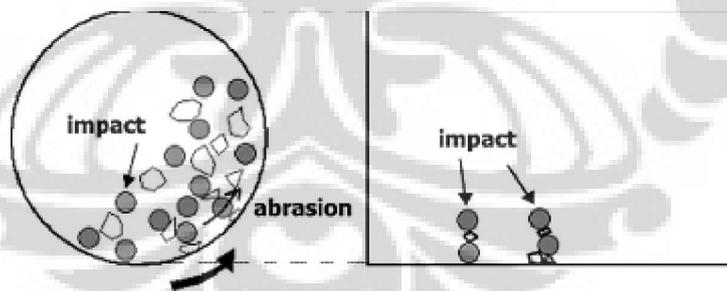
Proses mekanokimia adalah proses yang memanfaatkan energi mekanik untuk mengaktivasi material dan merubah struktur bahkan fasa yang ada. Proses mekanokimia dibagi menjadi 3 yaitu penggilingan mekanik (*Mechanical Milling*), pemaduan mekanik (*Mechanical Alloying*), dan penggilingan reaksi (*Reaction Milling*). Hasil yang diharapkan adalah mendapatkan material karbon aktif dengan luas permukaan yang besar, struktur pori yang seragam serta pembentukan mikropori dengan distribusi yang merata dan kuantitas yang banyak.

*Ball Milling* merupakan sebuah proses yang dapat memperkecil atau menyeragamkan ukuran tergantung dari parameter yang digunakan. Secara umum, bola-bola yang terbuat dari bola baja yang dikeraskan atau keramik dengan silinder, sebagai tempat penampung material dan bola, yang dindingnya terbuat dari material yang sama atau lebih keras agar dinding tidak rusak ketika proses *milling* dilakukan. Material akan hancur ketika terjadi penumbukan antara 2 permukaan yang keras. Terdapat dua jalur penumbukan yaitu penumbukan dimana material berada diantara dua buah bola dan penumbukan dimana material terkena bola ketika berdekatan dengan dinding silinder.

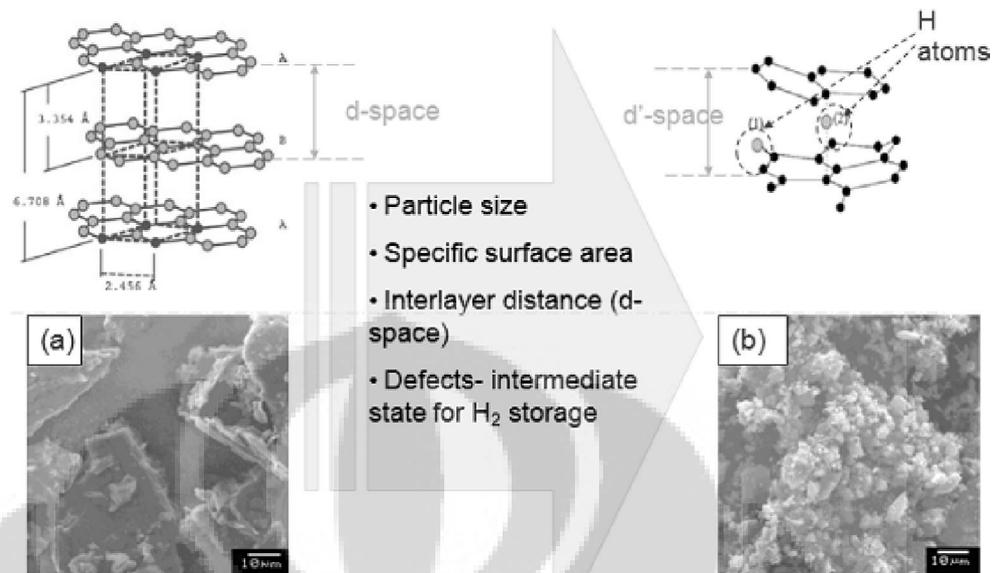
Kecepatan perputaran yang digunakan disesuaikan agar proses *milling* berjalan dengan optimal. Apabila kecepatan perputaran diatur terlalu cepat, bola-

bola hanya akan berputar di dinding silinder karena gaya sentrifugal. Sebaliknya ketika kecepatan perputaran sangat rendah, energi tumbukan untuk menghancurkan material tidak cukup sehingga proses akan berlangsung lama. Begitu juga dengan parameter bola yang digunakan, semakin besar ukuran bola yang dipakai maka energi ketika menumbuk akan semakin besar namun ketika material sudah berukuran kecil penumbukan akan jarang terjadi karena ruang terjadi penumbukan menjadi semakin kecil dan pada akhirnya proses menjadi tidak optimal. *Milling* memiliki kelemahan yakni sulitnya mendapat distribusi partikel yang merata dan dapat terbentuk kontaminasi akibat serpihan dari tumbukan dua buah bola atau bola dengan dinding. Namun dibalik kelemahannya tersebut, *milling* sering dipakai karena proses ini dapat menghasilkan ukuran partikel dengan cepat dan lebih murah.

Pada penelitian ini proses mekanokimia menggunakan alat *planetary ball mill* (PBM) yang dicampur dengan *activation agent* berupa pelet KOH. PBM berfungsi untuk menggiling serta memadukan partikel yang memiliki perbedaan ukuran dan jenis material, baik kondisi kering maupun basah serta keadaan vakum atau inert. Tergantung dari parameter yang dipakai, PBM dapat mereduksi ukuran material hingga 30 nm.

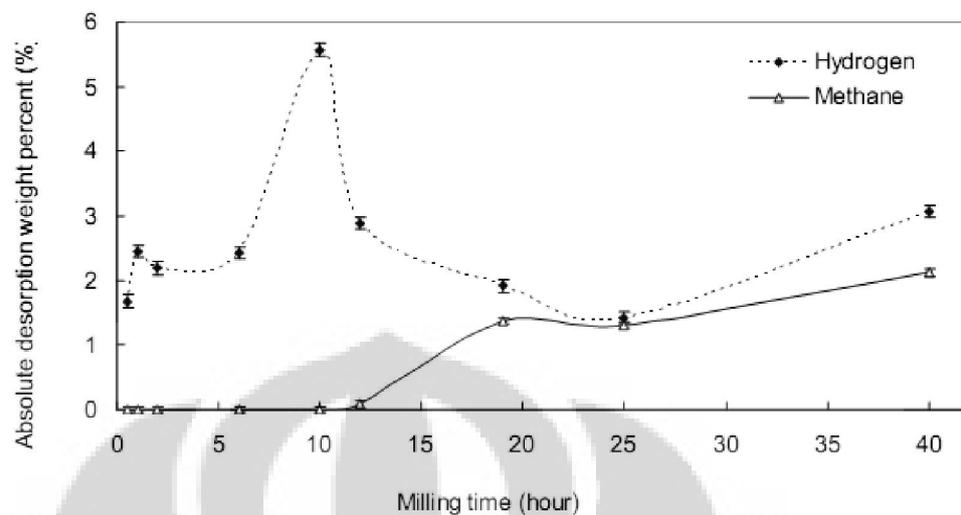


**Gambar 2.4** Ilustrasi penggilingan material dalam *ball mill* [16].

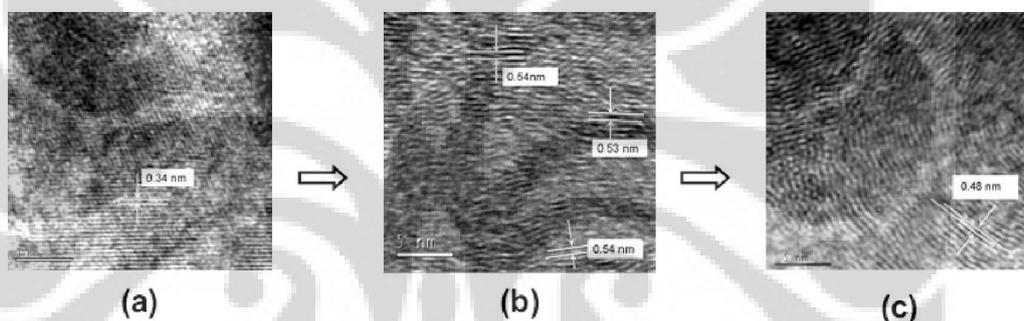


**Gambar 2.5** Efek *Milling* berupa pelebaran jarak *interlayer* atom. (a) Bahan baku. (b) setelah *milling* 40 jam.[17].

Pada gambar 2.5 berdasarkan penelitian Zhang & D. Book, dimana penelitian tersebut mencari efek dari milling dengan bahan baku grafit dan pada kondisi atmosfer hidrogen sebesar 3 bar untuk mendapatkan sifat penyimpanan hidrogen yang baik memperlihatkan efek dari *milling* sendiri dapat membuat peningkatan jarak *interlayer* atom atau dengan kata lain material akan semakin amorf. Namun ada sebuah titik optimum dimana material dapat menjadi media penyimpanan hidrogen yang baik terlihat pada gambar 2.6 dimana jumlah desorpsi gas yang diukur dengan spektroskopi massa TGA, yang berarti jumlah gas hidrogen yang terserap ketika proses *milling* dilakukan, memperlihatkan bahwa terdapat waktu yang optimal yakni 10 jam setelah itu kemampuan desorpsi akan menurun karena terdapat peningkatan jarak *interlayer* atom seperti yang terlihat pada gambar 2.7.



**Gambar 2.6.** Jumlah desorpsi gas hidrogen dan metana dengan variabel waktu *milling* [17].



**Gambar 2.7.** Pengukuran Jarak interlayer atom dengan HRTEM dari (a) sampel awal dengan  $d=0,34$  nm (b) hasil *milling* 10 jam  $d=0,54$  nm (c) hasil *milling* 40 jam  $0,48$  nm.

[17]

## 2.6 Pembentukan Pelet Karbon Aktif

Pembentukan pelet pada karbon aktif umumnya digunakan pada operasi bertekanan tinggi dan adsorpsi volumetrik yang besar. Struktur pelet pada karbon memiliki sifat keras, padat dan luas permukaan yang tinggi. Ukuran pelet biasanya memiliki panjang 20-40 mm dengan diameter 5-10 mm.

Berdasarkan penelitian sebelumnya [18], yang menggunakan arang batok sebagai bahan karbon aktif untuk mengadsorpsi gas metana yang dipeletasi dengan binder epoxy dan gula dan diaktivasi secara fisika dan kimia, membuktikan bahwa karbon aktif berbentuk pelet lebih banyak menyerap adsorbat dibandingkan karbon aktif biasa. Sampel diukur luas permukaannya

dengan *iodine number* yang ekuivalen dengan uji BET untuk luas permukaan di atas  $900 \text{ m}^2/\text{g}$ , namun di bawah itu *iodine number* tidaklah valid. Namun percobaan tersebut dilakukan menggunakan gas metana sehingga nilainya akan berbeda atau di bawah nilai penyerapan gas metana. Pada percobaan ini, penulis ingin mencoba melihat apakah ada penambahan kapasitas penyerapan hydrogen setelah dibentuk pelet seperti yang terjadi pada penyerapan metana.

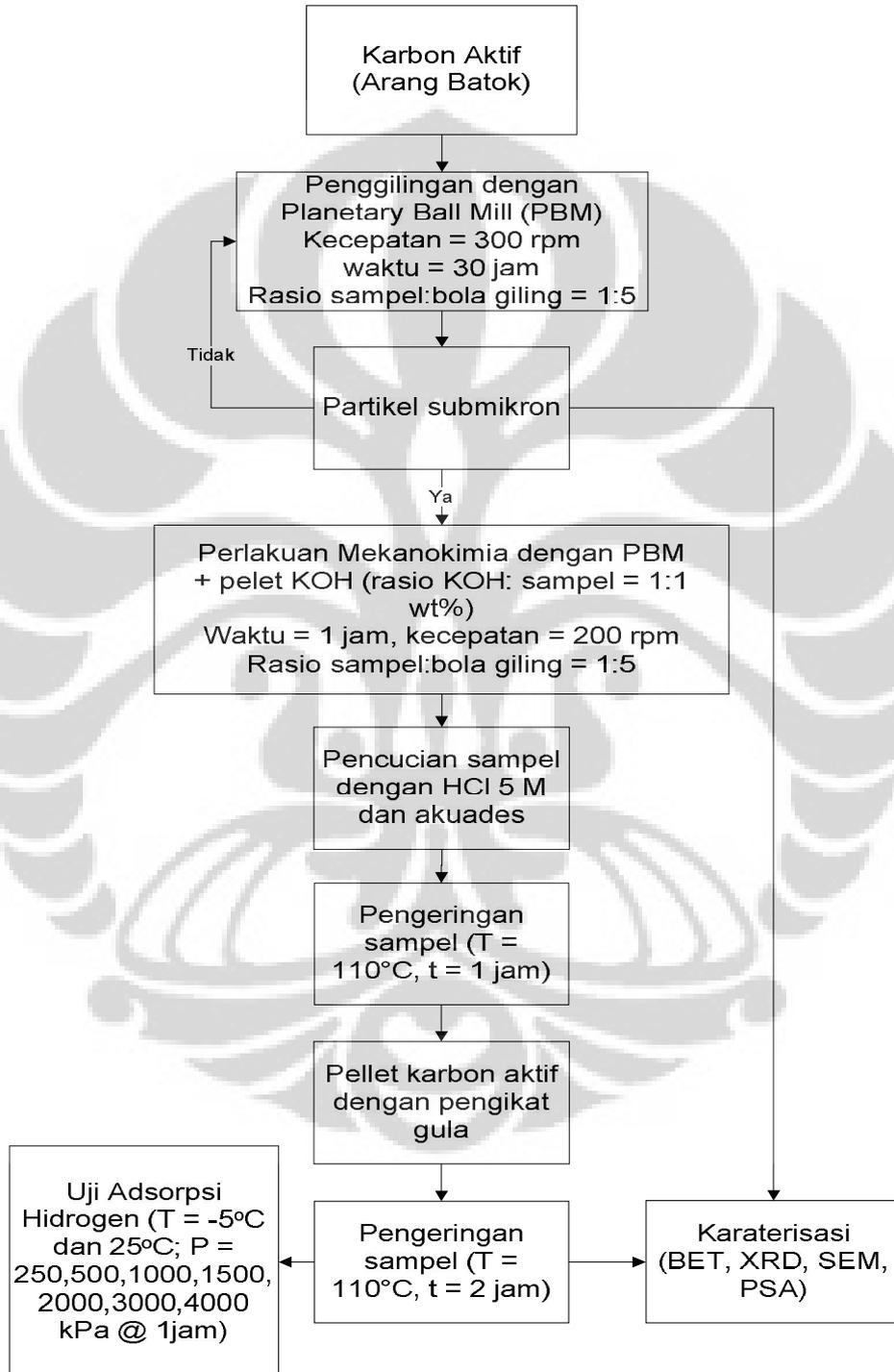
## 2.7 Metode Pengujian Adsorpsi

Terdapat beberapa metode pengujian adsorpsi seperti gravimetrik, volumetrik, kalorimetrik, dan desorpsi suhu terprogram (*Temperature Programmed Disorption*). Pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode volumetrik karena sederhana dan efektif selama informasi seperti tekanan dan temperatur dapat diketahui. Pengukuran dengan metode volumetrik adalah pengukuran tekanan adsorbat yang masuk ke adsorben. Setelah kesetimbangan terjadi, tekanan adsorbat yang berkurang merupakan jumlah adsorbat yang teradsorpsi ke adsorben.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan sampel arang batok kelapa komersil Indonesia yang sebelumnya telah diaktivasi. Sampel arang batok dalam bentuk granular tersebut digiling menggunakan PBM selama 30 jam dengan kecepatan 300 rpm sehingga mendapatkan ukuran butir yang lebih kecil. Lalu sampel hasil gilingan dilakukan dicampur dengan *activating agent* KOH dan di-PBM selama 1 jam dengan 200 rpm dengan dilakukan proses tersebut diharapkan dihasilkan sampel karbon aktif yang memiliki mikroporositas yang lebih banyak daripada sebelumnya. Untuk mengetahui karakteristik dari sampel maka akan dilakukan karakterisasi dengan *Particle Size Analysis* (PSA), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Tes Brunner Emmet Teller* (BET), *X-Ray Diffraction* (XRD). Berikut ini merupakan proses-proses yang dilakukan kepada sampel.

### 3.2 Proses Mekanokimia dengan *Planetary Ball Milling* (PBM)

Proses mekanokimia menggunakan PBM dengan *activating agent* berbentuk pelet. Penggilingan dilakukan selama 1 jam dengan kecepatan 200 rpm. Pada proses mekanokimia ini, karbon aktif akan dicampurkan dengan KOH dengan rasio KOH terhadap karbon aktif sebesar 1:1. Untuk rasio penggilingan sampel karbon aktif terhadap bola sebesar 1:5 (ukuran bola tidak seragam dengan kapasitas total sekali proses sebesar 60 gram) Alat PBM yang digunakan pada proses ini adalah NQM-4. Pada proses ini diharapkan terbentuknya mikroporositas yang lebih banyak dibandingkan sebelum mendapatkan perlakuan mekanokimia.



Gambar 3.2 Alat *Planetary Ball Mill*

### 3.3 Proses Pencucian dan Pengeringan

Setelah proses mekanokimia selesai dilakukan tahapan selanjutnya adalah proses pencucian dengan HCl 5M dan diikuti dengan aquades. Proses pencucian ini berfungsi untuk menghilangkan KOH yang masih tersisa di sampel terutama pada permukaan yang akan mengurangi besar luas permukaan pada saat digunakan. Setelah proses pencucian selesai dilakukan proses pengeringan dengan suhu 110 °C selama 1 jam.

### 3.4 Pembuatan Pelet

Pembuatan pelet dengan pencampuran manual sampel dengan pengikat jenis gula cair dengan rasio 1:0,65. Tahapan pembuatan pelet adalah mula – mula sampel yang telah dikeringkan dicampurkan dengan pengikat. Setelah terbentuk adonan, pelet akan dibuat dengan menggunakan alat pencetak bertekanan untuk memastikan sampel benar-benar padat dan tidak ada udara yang terperangkap di dalam sampel bentuk pelet. Setelah sampel berbentuk pelet dilakukan pengeringan pelet di dalam oven pada suhu 110 °C selama 2 jam. Agar pelet cukup keras dan siap dikarakterisasi. Ukuran pelet berdiameter 5 mm.

### 3.5 Karakterisasi Sampel

Terdapat beberapa karakterisasi sampel yang dilakukan, yaitu

#### 3.5.1. Analisa Material Dasar dengan Pengujian Kadar Tetap Karbon

Untuk mengetahui material dasar yang akan digunakan sebagai karbon aktif akan dilakukan pengujian analisa proksimat. Analisa proksimat dari arang batok akan menentukan distribusi produk yang akan diperoleh pada saat sampel arang batok dipanaskan pada kondisi yang spesifik. Hal tersebut diatur pada ASTM D121, dan hasil pengujian terbagi menjadi 4 grup, yaitu :

1. *Moisture* (kandungan air yang ada pada sampel),
2. *Volatile matter* (zat yang menguap dari sampel selama proses pemanasan berlangsung),
3. *Fixed carbon* (kandungan karbon pada sampel),
4. *Ash* (abu atau residu inorganik hasil pembakaran sampel).

### 3.5.2. Analisa Ukuran Partikel dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Pengujian dengan ukuran partikel dengan PSA ini dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dari sampel karbon aktif sebelum dan sesudah dilakukan proses mekanokimia. Sehingga ukuran sampel yang digunakan dipastikan ranah nano dan submikron.

### 3.5.3. Pengukuran Luas Permukaan Partikel dengan Menggunakan Uji *Brunauer Emmett Teller* (BET)

BET merupakan singkatan dari nama – nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan pada suatu material. Secara teori, BET menjelaskan adsorpsi fisik gas molekul pada permukaan solid dan digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material dengan data yang dihasilkan meliputi

1. *Surface area* (SA, m<sup>2</sup>/g),
2. Diameter pori (D), dan
3. Volume pori (V<sub>pr</sub>, cc/gr).

Teori BET merupakan turunan dari teori *Langmuir*, yang menjelaskan teori tentang adsorpsi molekular monolayer, menjadi adsorpsi multilayer. BET yang dilakukan menggunakan larutan air. Alat yang digunakan untuk pengukuran ini adalah Nova Station A.

### 3.5.4. Karakteristik Analisa Kristalinitas Struktur Permukaan Karbon Aktif dengan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakteristik difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui parameter kisi, struktur kristal dan derajat kekristalan dalam suatu sampel yang berhubungan dengan kemampuan penyerapan hidrogen. XRD merupakan teknik analisa yang biasanya digunakan untuk identifikasi fasa dari material kristalin dan dapat memberikan informasi mengenai dimensi unit cell. Prinsip dasar dari XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi – kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Å. Alat XRD yang digunakan pada pengujian ini adalah Shimatsu XRD-7000.

Jarak *interlayer* dihitung dengan persamaan *braggs* sebagai berikut

$$d = \frac{n \lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.1)$$

Dimana :

$\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi yang digunakan (0,15405 nm).

$\theta$  adalah sudut difraksi untuk posisi puncak.

### 3.5.5. Karakteristik Analisa Morfologi Permukaan Karbon Aktif dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

SEM adalah satu jenis mikroskop elektron dimana gambar dari suatu sampel dihasilkan dengan cara memindai permukaan sampel dengan *high-energy beam of electrons*. Elektron-elektron berinteraksi dengan atom-atom sehingga menghasilkan sinyal yang memberikan informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi kimia, struktur kristal, dan konduktivitas listrik. Karakterisasi SEM ini dilakukan dengan tujuan hasil dari gambar SEM akan menggambarkan pori – pori dan sifat permukaan karbon aktif. Pada penulisan ini, penulis menguji dengan SEM LEO 420i.

### 3.5.6. Kapasitas Penyimpanan Hidrogen dengan Uji Adsorpsi Volumetrik

Alat uji adsorpsi yang digunakan merupakan uji adsorpsi volumetrik dimana sesuai dengan rumusan hukum gas ideal.

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (3.2)$$

Dimana

P adalah tekanan dalam sistem [Pa]

V adalah volume dari gas yang dipakai [liter]

n adalah jumlah mol gas [mol]

R adalah konstanta gas (0,8206 [atm.liter/(mol.K)])

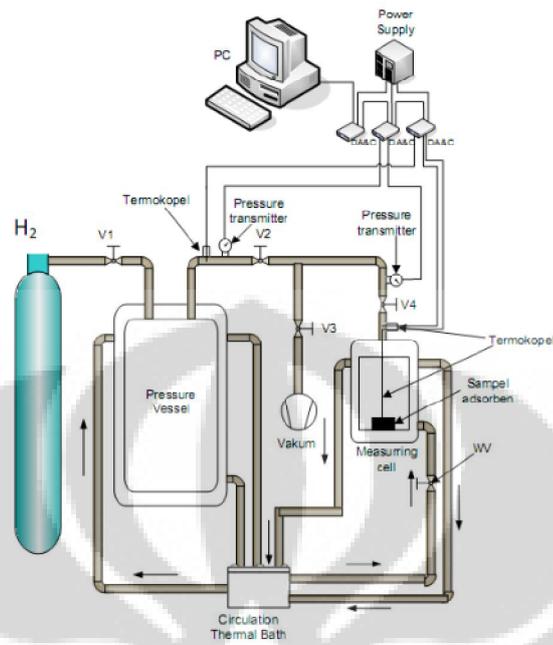
T adalah suhu sistem [K].

Pada pengujian ini kondisi berada pada isothermal dan isobarik dengan kata lain selain volume semua variabel adalah konstan. Dengan begitu perubahan volume yang terjadi pada sistem dapat diketahui berdasarkan berkurangnya tekanan akibat adsorpsi oleh sampel.

Pada alat terdapat dua buah silinder yang terbuat dari SS 304 yang bertindak sebagai *charging cell* dan *measuring cell*. Kedua silinder akan dihubungkan dengan tube SS316 dimana kedua silinder direndam dalam etilen glikol yang dikontrol temperaturnya oleh *microprocessor control circulating thermal bath* merk Huber dan *refrigerant*.

Karbon aktif dimasukkan kedalam *measuring cell* lalu dilakukan proses *degassing* selama 8 jam. Proses *degassing* berfungsi untuk mengeluarkan zat pengotor yang ada di dalam *sampel* ketika kontak dengan atmosfer. Selama proses *degassing*, temperatur karbon aktif harus dijaga. Lalu kedua silinder akan direndam dengan larutan yang disirkulasikan oleh *circulating thermal bath HUBER*. Setelah isothermal, gas hidrogen dimasukkan kedalam *charging cell* yang sebelumnya katup penghubung antara *charging cell* dan *measuring cell* ditutup.

Setelah temperatur pada *charging cell* kembali ke temperatur isothermal katup penghubung tersebut dibuka, proses ini adalah proses awal adsorpsi isothermal. Setelah proses tersebut, gas H<sub>2</sub> kembali diisikan pada tekanan berikutnya kedalam *charging cell* setelah temperatur pada *charging cell* kembali pada temperatur semula. Proses tersebut berlangsung sampai dengan tekanan pengisian 3,5 MPa. Proses diatas dilakukan kembali untuk tiap temperatur isothermal yang berbeda [19].



**Gambar 3.3** Skematik alat uji adsorpsi volumetrik [20]

Secara teori, semakin rendah temperatur penyerapan akan semakin tinggi banyak hidrogen yang teradsorpsi karena jumlah molekul gas pada suhu yang lebih rendah akan semakin banyak karena sesuai dengan rumus 6.2, apabila pada tekanan yang sama namun suhunya berbeda maka jumlah molekul akan lebih tinggi untuk meyetarakan hukum gas ideal.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian kali ini, penulis telah melakukan beberapa pengujian seperti yang telah dibahas pada bab 3 sebelumnya. Pengujian-pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui efek dari perlakuan mekanokimia kering pada arang batok aktif. Dengan pengujian yang dilakukan, kita dapat mengetahui komposisi, ukuran partikel, kapasitas adsorpsi, luas permukaan, diameter pori, volume pori, morfologi dan kristalinitas sampel sebelum dan sesudah diberikan perlakuan. Berikut ini adalah hasil dan pembahasan dari pengujian-pengujian tersebut.

#### 4.1. Hasil Pengujian Kadar Tetap Karbon

Pengujian kadar tetap karbon menggunakan analisis proksimat dimana pengujian ini bertujuan untuk menentukan data-data yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Hasil diperoleh pada sampel dipanaskan pada kondisi yang spesifik.

Tabel 4.1 Data analisis proksimat karbon aktif berbahan dasar arang batok kelapa

Sampel	Kadar Kelembaban (% <sub>adb</sub> )	Kadar Abu (% <sub>adb</sub> )	Kadar Zat Terbang (% <sub>adb</sub> )	Kadar Karbon Padat (% <sub>adb</sub> )	Kadar Belerang Total (% <sub>adb</sub> )	Nilai kalori (cal/g, adb)
Arang Batok Kelapa	14,43	8,03	2,81	74,73	0,06	6026

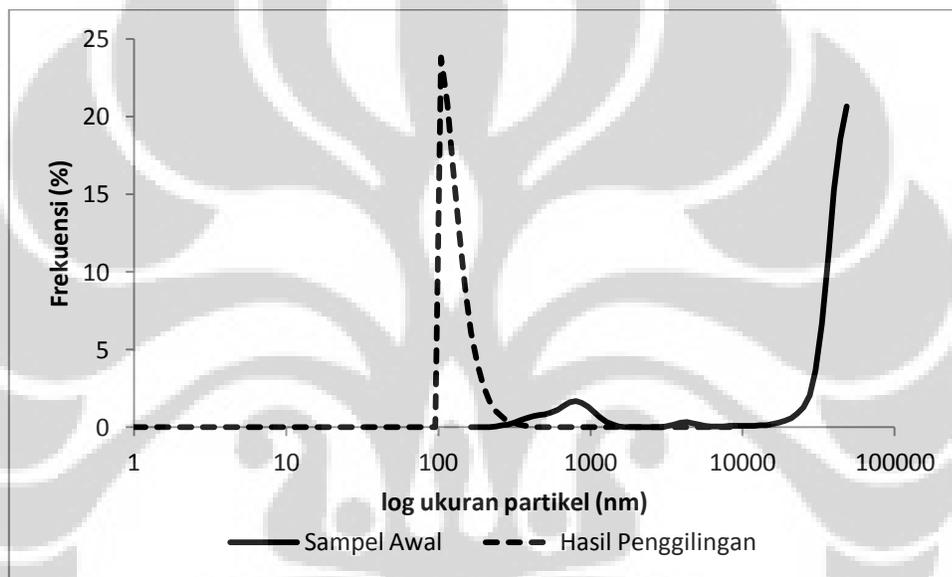
\*ADB = *Air Dried Basis* (Basis Pengeringan Udara)

Dari data pada tabel 4.1, kita dapat memperoleh gambaran umum kemampuan adsorpsi suatu karbon dengan menghitung menambahkan kadar kelembaban dengan kadar zat terbang karena kedua zat tersebut adalah zat *volatile* yang akan menghilang ketika sampel dipanaskan pada suhu tertentu. Zat adsorbat diharapkan dapat masuk mengisi ruang kosong yang ditinggalkan kedua zat tersebut setelah hilang namun pada kenyataannya nilai adsorpsi lebih dapat digambarkan oleh luas permukaan dan volume pori yang didapatkan dari hasil pengujian BET.

#### 4.2. Hasil Distrubisi Ukuran Partikel dengan *Particle Size Analyzer* (PSA)

Pengujian distrubusi ukuran partikel dengan PSA bertujuan mengetahui ukuran partikel dan distribusinya sebelum dan sesudah sampel diberi perlakuan. Data PSA dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

Hasil PSA pada sampel awal menunjukkan bahwa ukuran diameter partikel rata-rata sebesar 33,2  $\mu\text{m}$  sedangkan n pada sampel setelah hasil penggilingan ukuran diameter partikel rata-rata turun menjadi 134 nm dengan rentang ukuran terkecil 104 dengan frekuensi 23,8% dan ukuran terbesar 410 nm dengan frekuensi sebesar 0,1% .



**Gambar 4.1** Distrubusi Ukuran Partikel Sampel Awal dan Hasil Penggilingan selama 30 jam

Berdasarkan data yang diperoleh maka sampel setelah penggilingan mengalami penurunan ukuran partikel sebesar 99,6% dari 33,2  $\mu\text{m}$  menjadi 134 nm. Sehingga dapat dikatakan bahwa metode PBM pada percobaan ini cukup efektif untuk mengurangi ukuran partikel. Namun pada percobaan ini sampel belum memenuhi kategori nano, hanya dalam ranah sub-mikrometer. Adapun terjadi kesalahan pengukuran karena sulitnya mencari larutan untuk mengukur karbon granular tersebut karena hanya menggunakan air sebagai larutan tidak tertutup kemungkinan bahwa karbon-karbon beraglomerisasi sehingga ukuran yang terbaca lebih besar dari yang seharusnya terbaca.

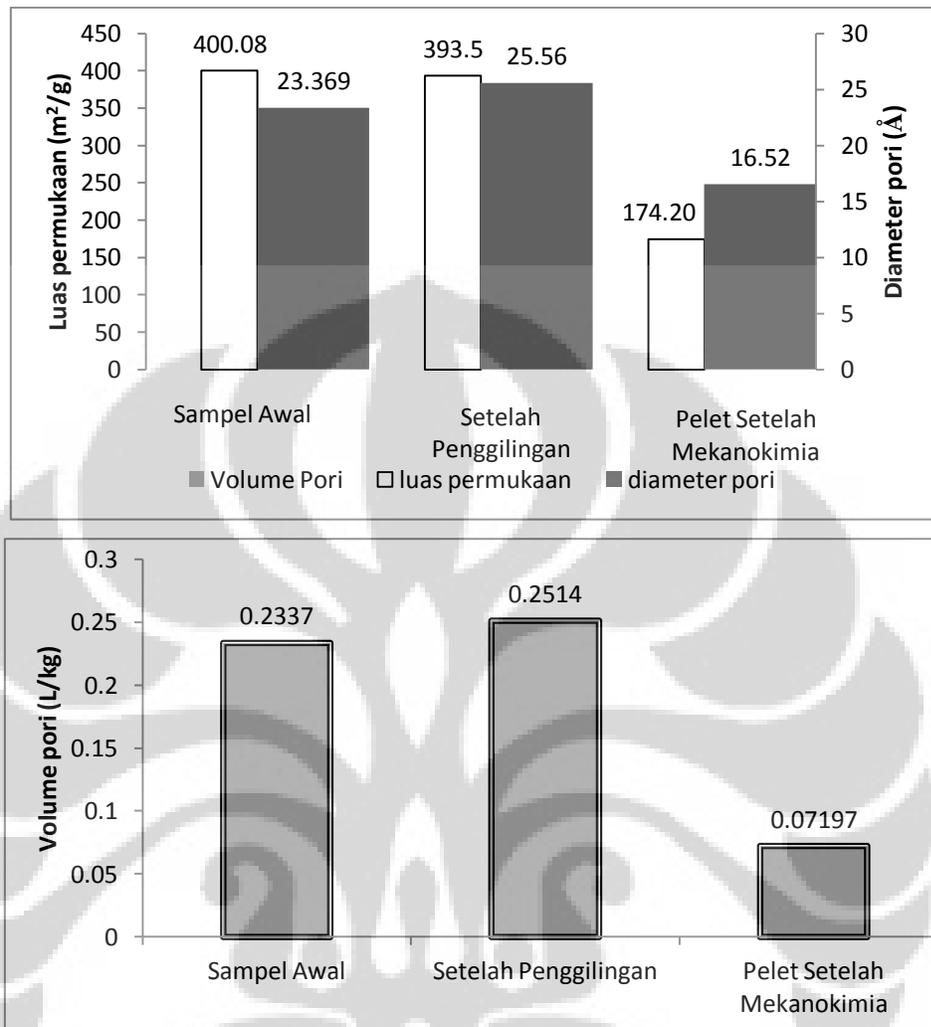
Sesuai dengan teori nano yang umum, semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan akan semakin besar. Besarnya luas permukaan membuat hidrogen dapat lebih mudah berinteraksi dengan permukaan adsorben. Namun sesuai yang dikemukakan pada penelitian sebelumnya<sup>[3]</sup>, bahwa diameter pori yang ideal untuk penyerapan hidrogen dibawah 2 nm agar hidrogen tidak teradsorpsi dalam bentuk ruah.

#### 4.3. Hasil Pengujian *Brunauer Emmett Teller* (BET)

Hasil yang didapat pada pengujian BET ditampilkan pada gambar 4.2. Luas permukaan awal sebesar 400,1 m<sup>2</sup>/g turun menjadi 393,5 m<sup>2</sup>/g setelah penggilingan 30 jam dan turun lebih jauh menjadi 174,2 m<sup>2</sup>/g setelah perlakuan mekanokimia kering dan dijadikan pelet. Berbeda dengan diameter pori, setelah penggilingan selama 30 jam, diameter pori naik dari 23,4 nm menjadi 25,6 nm dan setelah mekanokimia dan dipelet diameter porinya mengecil menjadi 16,52 nm. Penurunan diameter pori sangat diperlukan agar mendekati ukuran molekul gas hidrogen sehingga hidrogen lebih mudah teradsorpsi yang pada akhirnya akan meningkatkan kapasitas adsorpsi karbon.

Parameter terakhir dari pengujian BET adalah volume pori. Volume pori setelah digiling selama 30 jam meningkat dari 0,234 L/kg menjadi 0,252 L/kg lalu turun setelah mekanokimia dan dipelet menjadi 0,072 L/kg. Volume pori menggambarkan kapasitas atau volume fluida yang dapat ditampung oleh sebuah adsorben oleh karena itu penurunan volume pori merupakan hal yang tidak diinginkan karena kapasitas adsorbsinya akan menurun.

Sampel awal yang digiling selama 30 jam, diameter pori dan volume porinya mengalami peningkatan namun luas permukaan menurun. Akan tetapi, terdapat kompensasi pada peningkatan sedikit volume pori. Penurunan diameter partikel seharusnya membuat luas permukaan meningkat namun terdapat kemungkinan dimana terdapat kerusakan pori atau tertutup pengotor membuat luas permukaan mengalami penurunan.

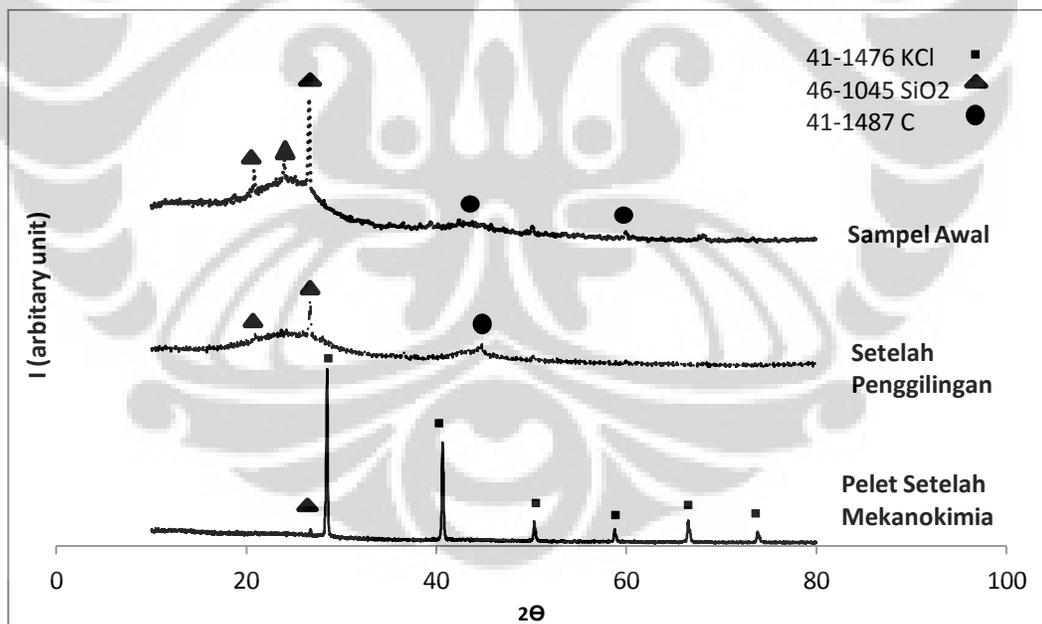


**Gambar 4.2** Grafik Luas Permukaan, Diameter Pori, dan Volume Pori Arang Batok Kelapa

Setelah sampel dipelet luas permukaan akan turun, hal ini merupakan hal yang logis karena luas permukaan dalam bentuk ruah akan lebih kecil daripada luas permukaan partikel-partikel dalam massa yang sama. Volume pori pada sampel pelet juga mengalami penurunan yang sangat signifikan sebesar 71,3% dari nilai volume pori maksimal 0,2514 L/kg. Terdapat kemungkinan bahwa penggunaan binder gula cair serta proses pembentukan pelet memberikan kontribusi penurunan ini karena binder masuk ke sela-sela pori sehingga menurunkan volume pori. Hal yang memenuhi kriteria peningkatan kapasitas adsorpsi pada proses mekanokimia dan pemeletan adalah diameter pori rata-rata yang berukuran 16,52 Å sehingga kategorinya masuk ke dalam mikropori.

#### 4.4. Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui derajat kristalinitas serta senyawa yang ada pada sampel. Derajat kristalinitas akan berpengaruh pada penyerapan hidrogen. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3, dari sampel awal terdapat pengotor  $\text{SiO}_2$  sesuai dengan JCPDS 46-1045 yang terus terdeteksi hingga sampel yang telah mekanokimia dalam bentuk pelet. Kristalinitas karbon hanya terdeteksi pada intensitas yang rendah dan menghilang atau dapat dikatakan amorf pada sampel pelet yang telah melalui perlakuan mekanokimia. Namun pada sampel pelet muncul sebuah pengotor baru yang intensitasnya cukup banyak dan jelas yaitu KCl. KCl merupakan hasil penetralan KOH dengan HCl yang dilakukan sebelum proses pembentukan pelet. Pembentukan KCl sudah dicegah dengan pembilasan dengan akuades namun pembilasan tersebut belum sepenuhnya efektif menghilangkan produk garam tersebut. Garam KCl dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi karena menutupi porositas di permukaan.

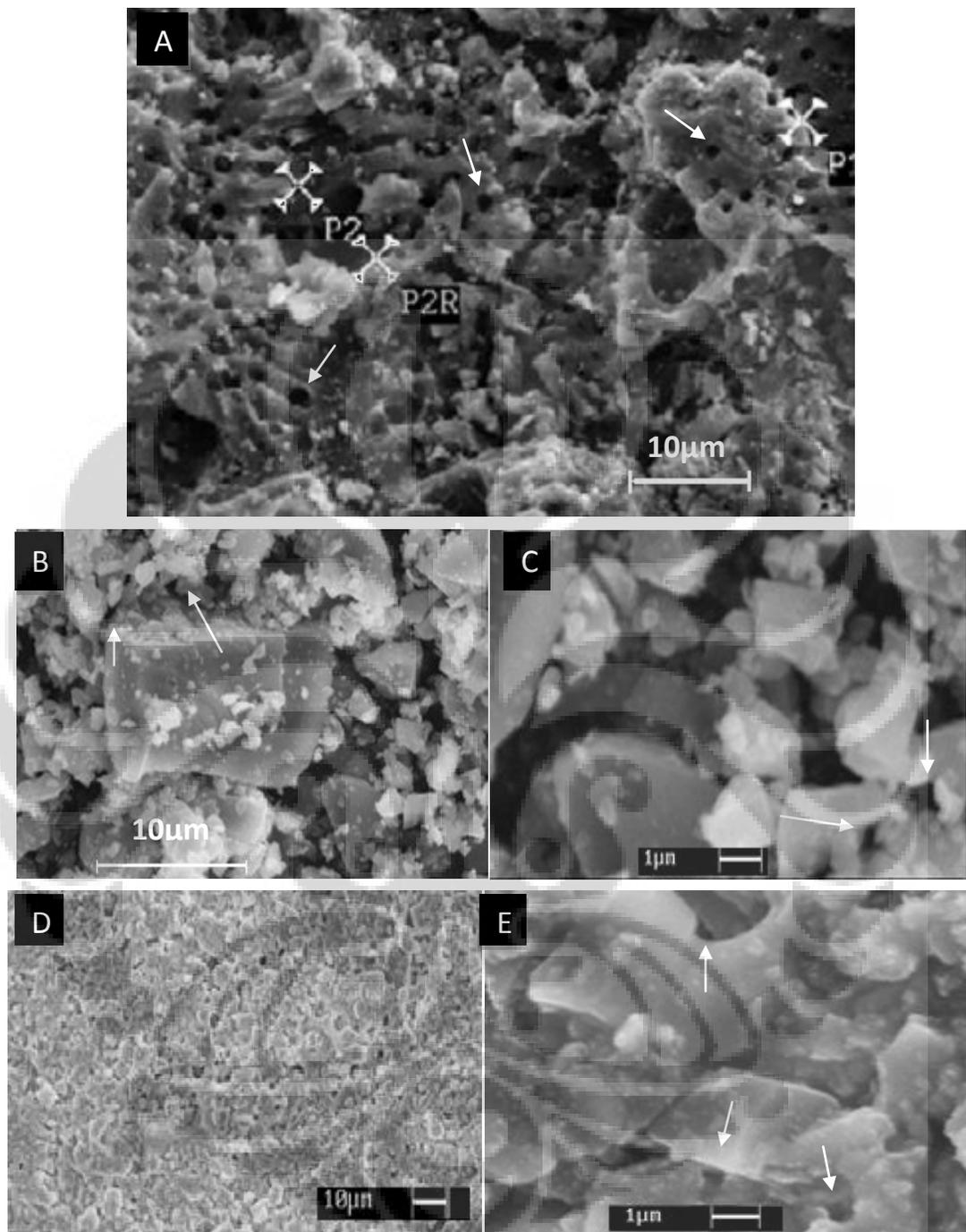


Gambar 4.3 Hasil XRD pada berbagai perlakuan

#### 4.5. Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Pengujian SEM bertujuan untuk mendapatkan gambaran morfologi dari permukaan sampel dan menunjukkan pori yang permukaan sampel. Pada gambar 4.4 merupakan foto hasil SEM berbagai perlakuan pada sampel karbon aktif arang batok. Pada gambar 4.4A dapat dilihat bahwa distribusi pori cukup merata dan jumlah porositas yang ada cukup banyak namun ukuran diameter pori masih tergolong besar sekitar 1  $\mu\text{m}$ . Pada sampel setelah hasil penggilingan selama 30 jam, porositas memiliki ukuran diameter yang lebih kecil namun sulit dilihat secara jelas karena tertutup pengotor  $\text{SiO}_2$ . Pada perbesaran 7000x pada gambar 4.4C, terlihat porositas di bawah 1  $\mu\text{m}$  mulai terbentuk. Pada sampel arang batok hasil proses mekanokimia kering yang telah dipelet jumlah porositas yang kecil di bawah 1  $\mu\text{m}$  terlihat lebih jelas di banding sebelumnya, hal ini telah dibuktikan dengan pengukuran diameter pori melalui uji BET.

Pengujian SEM yang dilakukan masih belum dapat menggambarkan informasi seperti distribusi pori untuk mendapatkan gambaran umum apakah porositas yang terbentuk terlokalisasi atau tersebar merata sehingga dapat menjadi referensi untuk percobaan mendatang apakah perlakuan yang dilakukan pada karbon aktif merupakan sebuah perlakuan yang efektif untuk membentuk porositas secara merata atau tidak.



**Gambar 4.4** Hasil SEM sampel karbon aktif arang batok .

Porositas ditunjukkan dengan tanda panah. (A) Sampel Awal [Perbesaran 1000x]. (B) Sampel Hasil Penggilingan 30 jam [Perbesaran 3000x]. (C) Sampel Hasil Penggilingan 30 jam [Perbesaran 7000x]. (D) Sampel Pelet Setelah Perlakuan Mekanokimia kering [Perbesaran 500x]. (E) Sampel Pelet Setelah Perlakuan Mekanokimia kering [Perbesaran 7000x]

#### 4.6. Hasil Pengujian Adsorpsi Hidrogen

Pengujian adsorpsi hidrogen yang dilakukan dengan cara uji adsorpsi volumetrik ini bertujuan untuk mengukur kapasitas adsorpsi sampel karbon aktif. Pada bagian ini penulis membandingkan kapasitas adsorpsi dari sampel awal dengan sampel pelet yang telah di-mekanokimia serta sampel pelet pada penelitian sebelumnya<sup>[19]</sup>, yang melakukan reaktivasi KOH pada suhu 550 °C selama 1 jam.

Jumlah partikel gas pada temperatur yang lebih rendah dengan tekanan yang sama akan lebih banyak sehingga adsorpsi yang terjadi juga akan lebih banyak. Hal tersebut dibuktikan secara konsisten pada gambar 4.5 dimana adsorpsi hidrogen pada suhu 25 °C akan lebih sedikit dibandingkan dengan adsorpsi hidrogen pada suhu -5 °C pada tekanan yang sama. Pada pengujian ini juga telah membuktikan penelitian sebelumnya [18], adsorpsi gas jauh lebih banyak pada bentuk pelet dibandingkan bentuk granular.

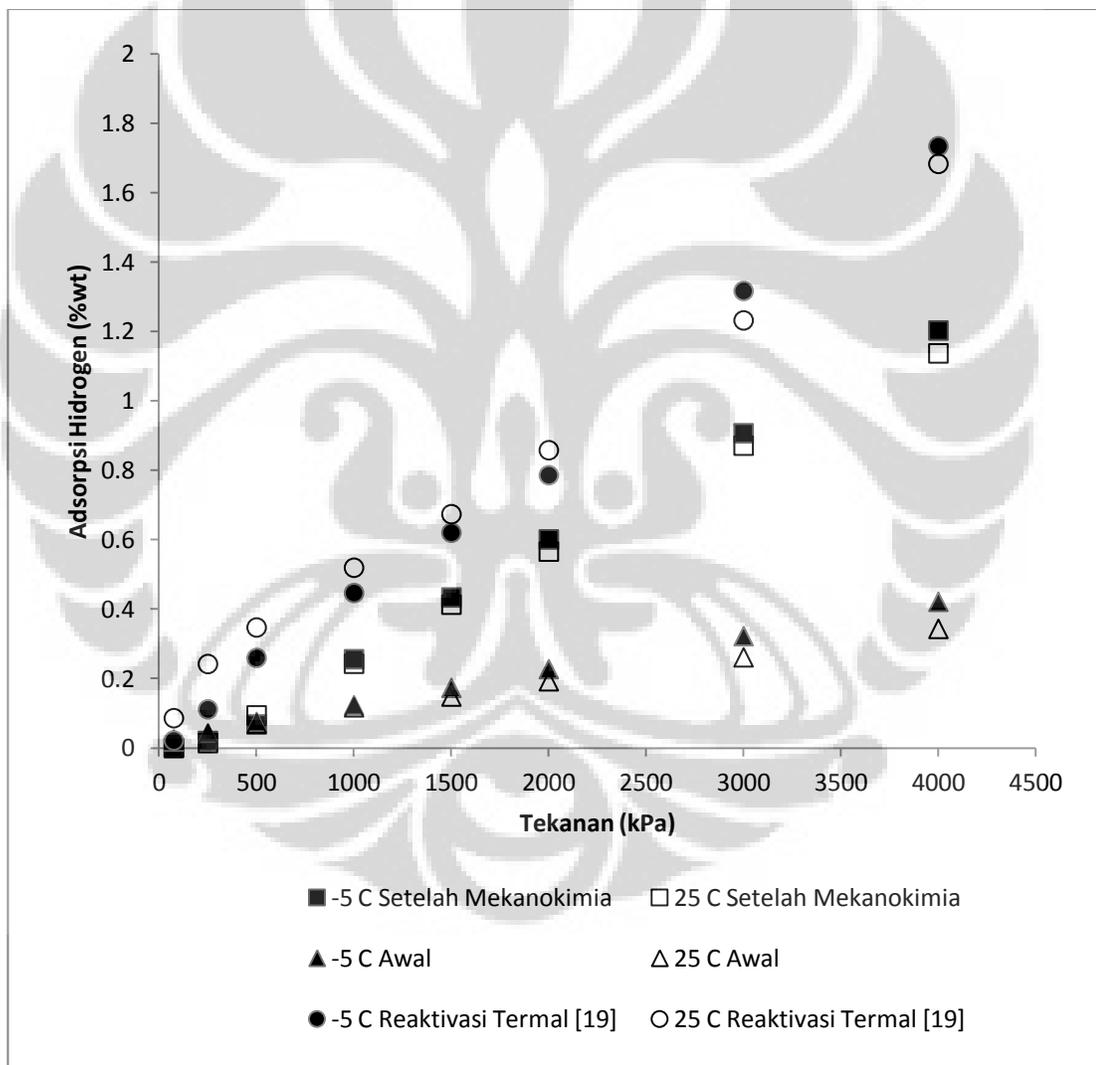
##### 4.6.1. Pengaruh Mekanokimia Kering terhadap Adsorpsi H<sub>2</sub>

Dari gambar 4.5, kita dapat melihat dengan jelas bahwa pengaruh mekanokimia dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen dari seperti yang terlihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4.2** Adsorpsi Hidrogen sampel arang batok berbagai perlakuan pada tekanan 4000 kPa

Sampel	Adsorpsi Hidrogen (% wt)	
	-5 °C	25 °C
Awal	0,421	0,343
Setelah Mekanokimia kering	1,202	1,136
Reaktivasi Termal	1,733	1,683

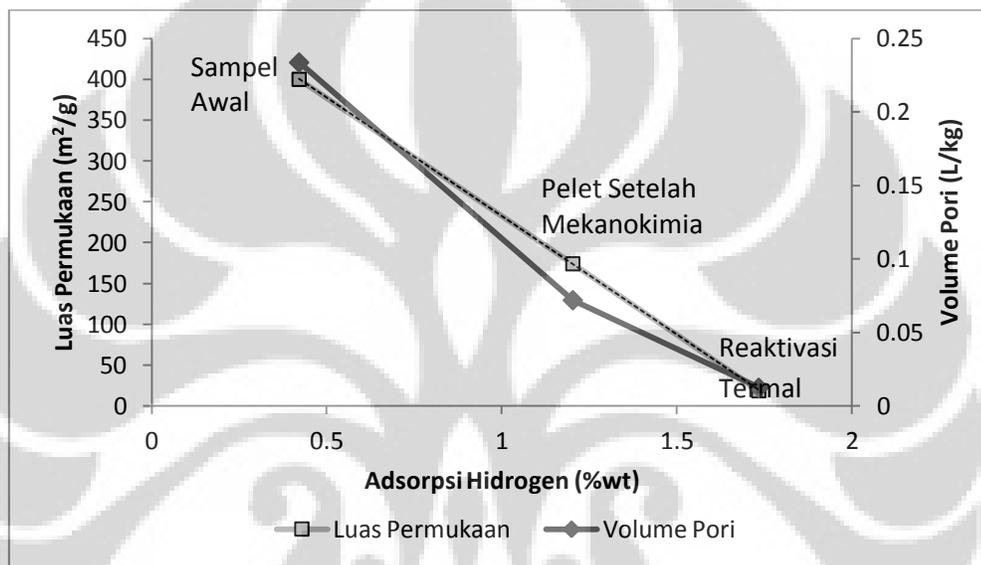
Meskipun terdapat peningkatan adsorpsi hidrogen namun terdapat anomali dimana luas permukaan dan volume pori, yang merupakan gambaran kapasitas adsorpsi, memiliki nilai lebih rendah dibandingkan sampel awal. Berdasarkan hasil yang diperoleh, reaktivasi termal memberikan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan perlakuan mekanokimia kering. Namun mengingat energi yang dibutuhkan untuk reaktivasi termal lebih banyak dibandingkan perlakuan mekanokimia dapat dikatakan reaktivasi mekanokimia kering dapat menjadi alternatif yang lebih hemat biaya serta energi.



**Gambar 4.5** Perbandingan Adsorpsi Sampel Awal dengan Sampel Pelet setelah Mekanokimia Kering dan Reaktivasi Termal.

#### 4.6.2. Anomali penurunan Luas Permukaan dan Volume Pori terhadap Adsorpsi Hidrogen

Pada percobaan ini terdapat anomali dimana volume pori yang seharusnya menjadi gambaran umum tentang adsorpsi. Nilai yang lebih rendah memiliki penyerapan yang lebih baik dibandingkan nilai volume pori dan luas permukaan yang lebih besar seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Perbandingan Adsorpsi Hidrogen dengan volume pori dan luas permukaan pada tekanan 4000 kPa dan suhu -5 °C

Anomali ini dapat dijelaskan oleh berbagai faktor yang dapat mempengaruhi adsorpsi. Faktor-faktor tersebut adalah :

a. Jarak *Interlayer* Atom

Perbesaran jarak interlayer atom yang telah dilakukan pada studi sebelumnya [17], perbesaran jarak interlayer atom dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi hidrogen karena celah antar interlayer yang ukurannya di bawah 1 nm namun tidak terlalu kecil sehingga hidrogen dapat masuk ke dalam dan menempel di permukaan.

b. Afinitas Adsorbat-Adsorben

Berdasarkan persamaan Dubinin-Radushkevich [21], yang dapat dilihat di bawah ini :

$$V = V_0 \exp \left[ -B \left( \frac{RT}{\beta} \ln \frac{P_0}{P} \right)^2 \right] \quad (4.1)$$

Dimana  $V$  adalah jumlah adsorbat yang terserap relatif terhadap tekanan  $P/P_0$ ,  $V_0$  adalah volume mikropori,  $\beta$  adalah koefisien afinitas dan dihitung berdasarkan referensi benzene (nilai 1), dan  $B$  adalah parameter struktural. Sehingga dapat kita lihat hubungan langsung bahwa jumlah yang terserap dapat diakibatkan oleh volume mikropori yang ada, parameter struktural atau ukuran dari diameter pori yang ada serta koefisien afinitas antara adsorbat dan adsorben. Semakin besar koefisien afinitas, maka akan semakin besar jumlah adsorbat yang terserap. Berdasarkan literatur yang ada [22],  $\beta$  hidrogen lebih kecil dibandingkan dengan adsorbat yang lain seperti metana atau karbon dioksida namun nilainya akan berubah dengan adanya perubahan adsorben yang digunakan meskipun sama-sama menggunakan karbon.

Keberadaan pengotor seperti binder, KCl, ataupun  $\text{SiO}_2$  dapat membuat nilai adsorpsi yang berbeda karena terdapat perbedaan koefisien afinitas dari masing-masing zat meskipun nilai  $\beta$  dari masing-masing zat terhadap hidrogen belum diketahui secara pasti.

c. Momen dipol

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan [23], keberadaan garam dapat membuat momen dipole elektrik yang dapat membuat hidrogen teradsorpsi dengan garam.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Pada bab ini merupakan kesimpulan yang berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan terhadap data yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan dari penelitian ini, yaitu :

1. Pembuatan karbon aktif berukuran nano dan submikron yang berasal dari arang batok komersial dengan metode PBM selama 30 jam cukup efektif dimana ukuran partikel turun sebesar 99,6% dari ukuran rata-rata partikel sebesar 33,6  $\mu\text{m}$  menjadi 134 nm
2. Jika dibandingkan dengan perlakuan sebelumnya, luas permukaan, diameter pori dan volume pori menurun setelah dilakukan proses mekanokimia. Penurunan luas permukaan disebabkan oleh proses peletasi karena luas permukaan ruah akan lebih rendah dibandingkan luas permukaan serbuk yang halus. Volume pori menurun dapat diakibatkan pembentukan pelet serta binder yang masuk ke dalam sela-sela porositas.
3. Struktur morfologi sampel dari setiap perlakuan dapat terlihat dengan SEM, terdapat penurunan ukuran porositas namun distribusi pori sulit untuk diukur karena ukuran porositas yang kecil sesuai dengan hasil BET dimana diameter pori rata-rata sebesar 1,65 nm.
4. Kemampuan adsorpsi sampel pelet yang mengalami perlakuan mekanokimia kering di bawah sampel pelet yang mengalami perlakuan reaktivasi termal sebesar 1,73%wt untuk reaktivasi termal dan 1,20%wt untuk reaktivasi mekanokimia kering pada suhu  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 4000 kPa serta 1,683%wt untuk reaktivasi termal dan 1,14% untuk reaktivasi mekanokimia kering pada suhu  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan tekanan kPa.

## Daftar Pustaka

1. Li, Zhou. "Progress and Problems in Hydrogen Storage Methods." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9 (2005): 395-408.
2. Niemann, et al. "A Review Nanomaterials for Hydrogen Storage Application." *Journal of Nanomaterials* 950967 (2008): 1-9.
3. Sudibandriyo, Mahmud. "High Pressure Activation of Methane and Hydrogen at 25 °C on Activated Carbons Prepared from Carbon and Coconut Shell." *International Journal of Engineering and Technology IJET-IJENS* 11 (2011).
4. Marsh, Harry, and Francisco Rodriguez-Reinoso. "Activated Carbon." Elsevier Science & Technology, 2006. p.1.
5. Hirscher, and Panella. "Nanostructures with high surface area for hydrogen storage." *Journal of Alloys and Compounds* (2006): 404-06.
6. Castello, et al. "Preparation of Activated Carbons from Spanish Anthracite I. Activation by KOH." *Carbon* 39 (2001): 741-49.
7. ---. "Preparation of activated carbons from Spanish anthracite II. Activation by NaOH." *Carbon* 39 (2001): 751-59.
8. Kunowsky, et al. "Impact of the Carbonisation Temperature of the Activation of Carbon Fibers and their Application for Hydrogen Storage." *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008): 3091-95.
9. Schalpbach, L., and A. Zuttel. "Hydrogen Storage Materials for Mobile Applications." *Nature* 414 (2001): 353-58.
10. *Hydrogen Fuel Production, Transport, and Storage*. Ed. Gupta, Ram B.: CRC Press, 2009. p6-10.
11. Do, Duong. *Adsorption Analysis : Equilibria and Kinetics*. Singapore: World Science Publishing Co. Pte, Ltd, 2008.
12. Keller, Jurgen U, and Reiner Staudt. *Gas Adsorption Equilibria: Experimental Methods and Adsorptive Isotherm*. Springer Science & Business Media, Inc, 2005.p.123-126
13. Power point "Adsorption", Aerosol & Particulate Research Lab, 2011, <http://files.engineering.com/download.aspx?folder=72dc2393-de04-412e-aac0-0e72014a9c5b&file=adsorption.ppt>.

14. Jack, Sky, Anthony, CCC MKC Chemistry Project. Activated carbon. <http://fly.to/chemproject> (diakses 12 Januari 2012 pukul 15.05)
15. Bansal, Chand, and Goyal. *Activated Carbon Adsorption*. Taylor & Francis Group, 2005.
16. Gupta, A., and D.S. Yan. *Mineral Processing Design and Operation*. Perth: Elsevier Science, 2006. p.65
17. YingHe, Zhang, David Book, and Rex Harris. "Effect of Milling Conditions on the Purity of Hydrogen Desorbed from Ball-milled Graphite." *Journal of Physical Chemistry* 115 51 (2011): 25285-89.
18. Dinesh, S. "Development and Characterization of Pellet Activated Carbon from New Precursor." National Institute of Technology Rourleka, 2010.
19. Chodijah, Siti. "Pemanfaatan Arang Batok Kelapa dan Batubara sebagai Karbon Aktif untuk Material Penyimpan Hidrogen." Universitas Indonesia, 2011.
20. Martin, Awaludin. "Adsorpsi Karbon Dioksida dan Metana pada Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Sub Bituminus Indonesia untuk Pemurnian dan Penyimpanan Gas Alam." Universitas Indonesia, 2010.
21. Yang, Ralph T. *Adsorbents : Fundamentals and Application*. Michigan: John Wiley & Sons, Inc., 2003. p.75
22. Wood, G.O. "Affinity Coefficients of the Polanyi/Dubinin Adsorption Isotherm equations : A Review with Compilation and Correlations." *Carbon* 39 (2000): 343-56.
23. Sun, Xiang. "Charge Induced Enchanment of Adsorption for Hydrogen Storage Materials." Michigan Technology University, 2009.

Lampiran 1. Hasil Uji Proksimat karbon aktif arang batok kelapa

F4133



**Laboratorium Pengujian tekMIRA**  
 PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA  
 Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung – 40211  
 Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e- mail : lab\_uji@tekMIRA.esdm.go.id

**SERTIFIKAT ANALISIS  
 (CERTIFICATE OF ANALYSIS)**

Nomor / Number : 1488<sup>A</sup>/LBB/XI/10 Tanggal / Date : 12 November 2010  
 Dibuat untuk / Certified for : Siti Chodijah  
 NPM. 0906579576  
 Fakultas Teknik UI Kampus Baru UI DEPOK  
 Jenis contoh / Type of Sample : Arang Batok Kelapa  
 Sifat / Kondisi Barang yang diuji / Description of sample : Berbutir Kasar  
 Asal contoh / Origin of sample : -  
 Jumlah contoh / Amount of sample : 2 (Dua)  
 Nomor Laboratorium / Laboratory Number : 6426 s.d 6427 / 2010  
 Contoh diterima tanggal / Sample received on : 8 November 2010  
 Waktu pelaksanaan pengujian / Date of testing : 8 November 2010

**HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULT :**

No.	No. Lab	Tanda Contoh	Air Lembab	Abu	Zat Terbang	Karbon Padat	Belerang Total	Nilai Kalor
No.	Lab No.	Sample marks	Moisture in Air Dried Sample	Ash	Volatile Mater	Fixed Carbon	Total Sulfur	Calorific Value
			% adb	% adb	% adb	% adb	% adb	Cal/g adb
1	6426/10	BK-A	14.43	8.03	2.81	74.73	0.06	6026
2	6427/10	BK-B	19.73	6.81	6.59	66.87	0.19	5454
Standar Acuan :			ASTM D.3173	ASTM D.3174	ISO 562	ASTM D.3172	ASTM D.4239	ASTM D.5865

an. Manajer Teknis  
 Lab Batubara,

Taty Herawati  
 NIP. 19550706 197803 2 001

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji

Notes These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis

This Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical manager

**Sampel karbon aktif batok kelapa**

## Lampiran 2. Hasil BET

22/03/2011 14:58 55

KPRT PROSES

PAGE 02

H A S I L  
TEST RESULT

Nomor Seri : 549/P/13.2/LHU/2010

Nomor Contoh/ : 2454

Serial Number

Sample Number

Halaman : 2/2

Page

Identification	Determination	Unit	Result	Method
2454	Surface Area	m <sup>2</sup> /gr	400.08	BET
Batok Kelapa	Total Pore Vol	cc/gr	2.337 <sup>-01</sup>	
A	Diameter Pori	Å	2.33691 <sup>+01</sup> Å	

Catatan :



Personil Laboratorium LEMIGAS akan memberikan pelayanan yang terbaik untuk melayani Masyarakat. Release of this information is subject to the approval of the Laboratory Manager.  
 LEMIGAS Laboratories personnel will exert its best effort to conduct the analysis. The result obtained are held in strict confidence.

**BET karbon aktif arang batok *as-recieved***

Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction  
for NOVA instruments  
©1994-2003, Quantachrome Instruments  
version 2.1



\*\*\* This report was generated by an unaudited system \*\*\*

<b>Analysis</b>		<b>Report</b>	
Operator: Sukardi	Date: 2011/12/13	Operator: syntha	Date: 12/16/2011
Sample ID: B k serbuk 2133	Filename: C:\QCdata\physisorb\BK 1 OK.qps		
Sample Desc:	Comment: NONE		
Sample weight: 0.2012 g	Sample Volume: 0.0516 cc	Sample Density	3.9000 cc/g
Outgas Time: 20.0 hrs	OutgasTemp: 100.0 C	Analysis gas:	Nitrogen
Analysis Time: 187.2 min	End of run: 2011/12/13 16:11:55	Instrument:	Nova Station A
Bath Temp: 77.3 K	Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)

### Area-Volume Summary

#### Data Reduction Parameters

<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.5400 Å	Eff. cell stem diam. (d): 7.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molecular Wt.: 28.013 g/mol	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup> /mol	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### Area-Volume Summary summary

##### Surface Area Data

MultiPoint BET..... 3.935e+02 m<sup>2</sup>/g

##### Pore Volume Data

Total pore volume for pores with Diameter  
less than 2074.43 Å at P/Po = 0.990671..... 2.514e-01 cc/g  
HK method cumulative pore volume..... 2.169e-01 cc/g

##### Pore Size Data

Average pore Diameter..... 2.556e+01 Å  
DA method pore Diameter (Mode)..... 1.480e+01 Å  
HK method pore Diameter (Mode)..... 1.382e+01 Å

**BET karbon aktif arang batok PBM 30 jam**

Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction  
for NOVA instruments  
©1994-2003, Quantachrome Instruments  
version 2.1

Quantachrome  
INSTRUMENTS

Optimizing particle performance

\*\*\* This report was generated by an unaudited system \*\*\*

<b>Analysis</b>	<b>Report</b>	
Operator:syntha	Date:2011/12/16	Operator:syntha
Sample ID: Bk kering 2134	Filename: C:\QCdata\physisorb\BK 2 Ulangan OK.qps	Date:12/16/2011
Sample Desc: silinder	Comment: Standard long bulb + Filler Road	
Sample weight: 0.0419 g	Sample Volume: 0.0107 cc	Sample Density 3.9000 cc/g
Outgas Time: 20.0 hrs	OutgasTemp: 320.0 C	Analysis gas: Nitrogen
Analysis Time: 246.6 min	End of run: 2011/12/16 12:22:35	Instrument: Nova Station A
Bath Temp: 273.0 K	Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)	Equil time: 60/60 sec (ads/des)

### Area-Volume Summary

#### Data Reduction Parameters

<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.5400 Å	Eff. cell stem diam. (d): 7.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molecular Wt.: 28.013 g/mol	Cross Section: 16.200 Å <sup>2</sup> /mol	Liquid Density: 0.808 g/cc

#### Area-Volume Summary summary

##### Surface Area Data

MultiPoint BET.....	1.742e+02 m <sup>2</sup> /g
B.J.H. method cumulative adsorption surface area.....	1.598e+01 m <sup>2</sup> /g
B.J.H. method cumulative desorption surface area.....	1.498e+01 m <sup>2</sup> /g

##### Pore Volume Data

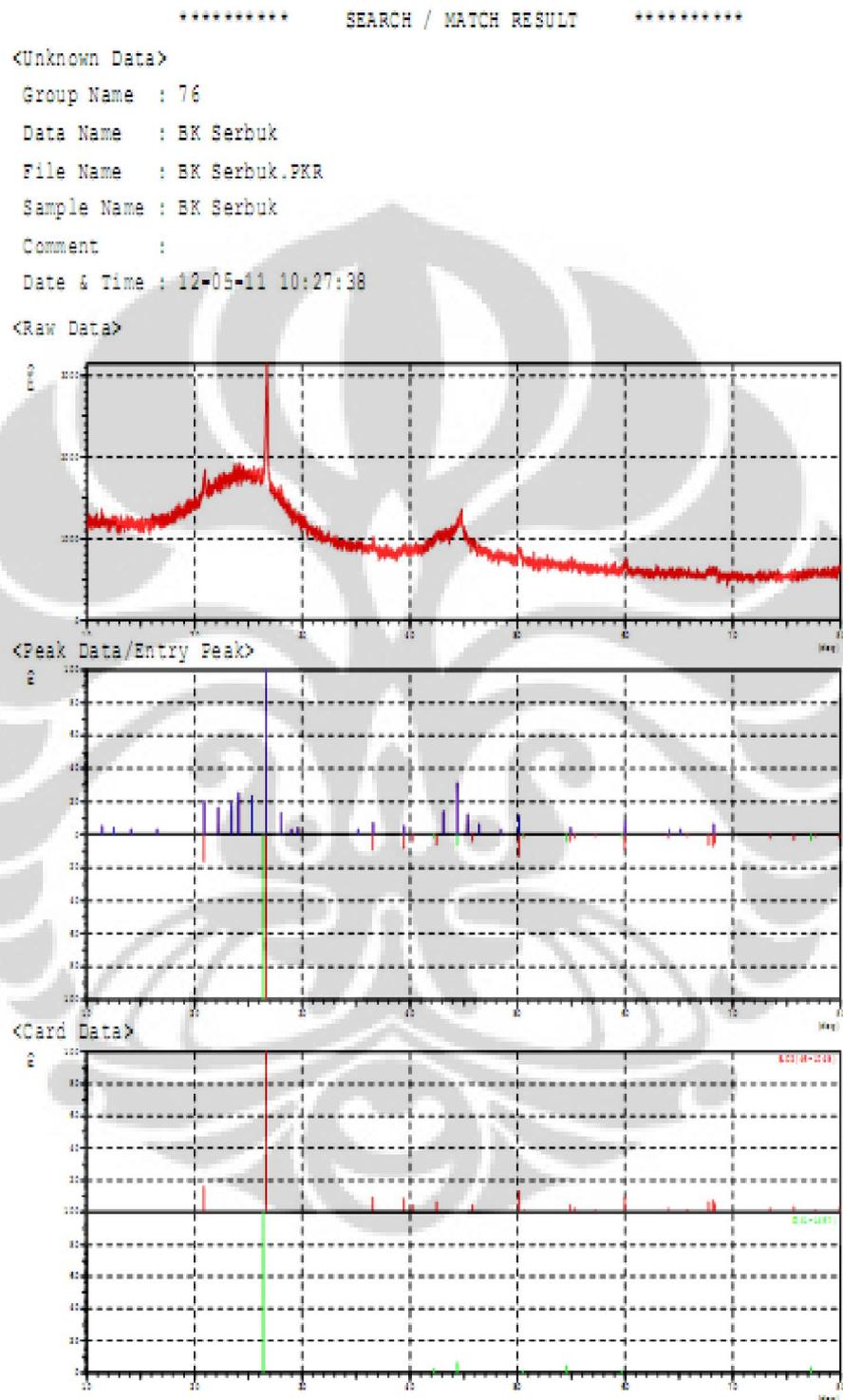
Total pore volume for pores with Diameter less than 1980.80 Å at P/Po = 0.990224.....	7.197e-02 cc/g
B.J.H. method cumulative adsorption pore volume.....	4.846e-02 cc/g
B.J.H. method cumulative desorption pore volume.....	4.442e-02 cc/g
H.K. method cumulative pore volume.....	8.478e-02 cc/g

##### Pore Size Data

Average pore Diameter.....	1.652e+01 Å
B.J.H. method adsorption pore Diameter (Mode).....	1.962e+01 Å
B.J.H. method desorption pore Diameter (Mode).....	2.592e+01 Å
D.A. method pore Diameter (Mode).....	1.740e+01 Å
H.K. method pore Diameter (Mode).....	1.392e+01 Å

**BET karbon aktif arang batok kelapa pelet mekanokimia kering**

## Lampiran 3. Hasil XRD

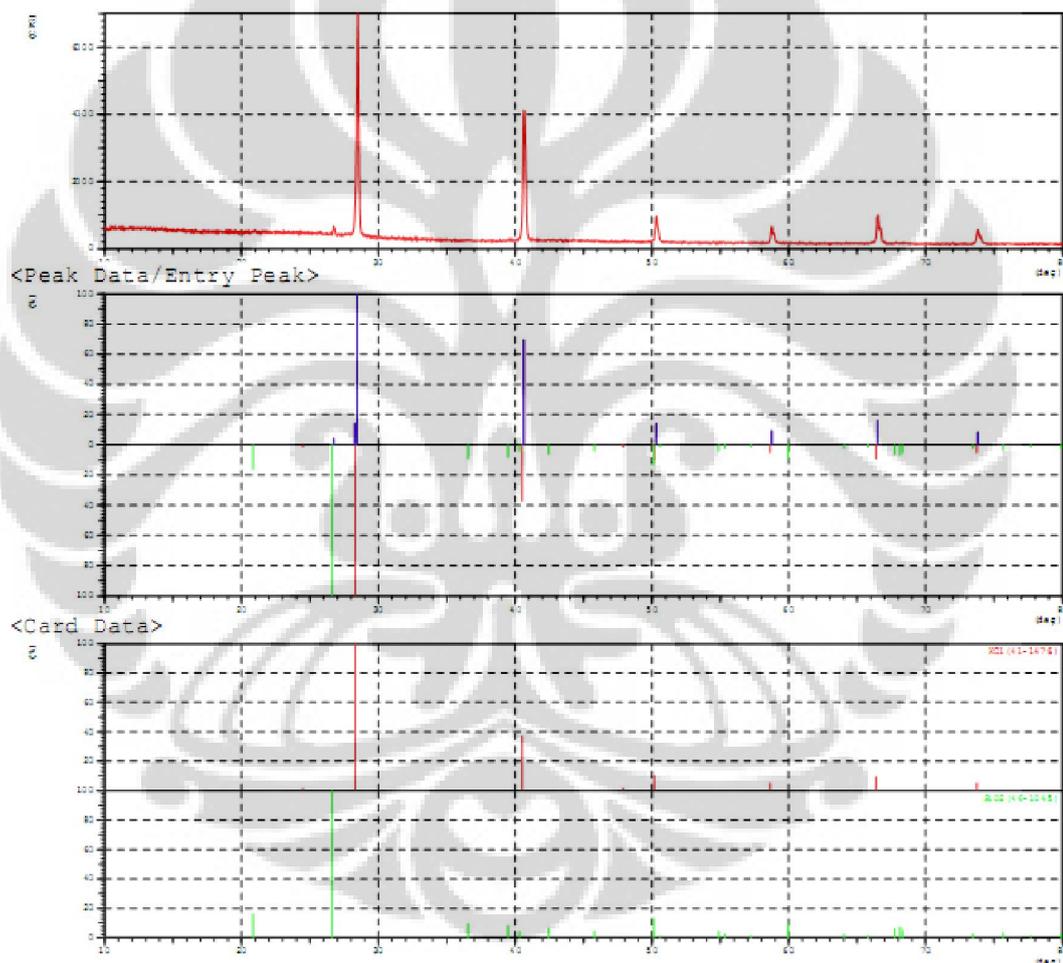
**XRD karbon aktif Arang batok PBM 30 jam**

```

***** SEARCH / MATCH RESULT *****
Group Name : 76
Data Name : BK Serbuk
File Name : BK Serbuk.PKR
Sample Name : BK Serbuk
Comment :
<Entry Card>
No. Card Chemical Formula S L d I R
      Chemical Name (Mineral Name) Dx WT% S.G.
1 46-1045 SiO2 0.948 0.455(10/58) 0.846 0.857 0.330
   Silicon Oxide ( Quartz, syn ) 2.65 P3221
2 41-1487 C 1.000 0.714( 5/10) 0.484 0.727 0.252
   Carbon ( Graphite-2\ITH\RG ) 2.24 P63/mmc

```

### Komposisi XRD karbon aktif arang batok PBM 30 jam



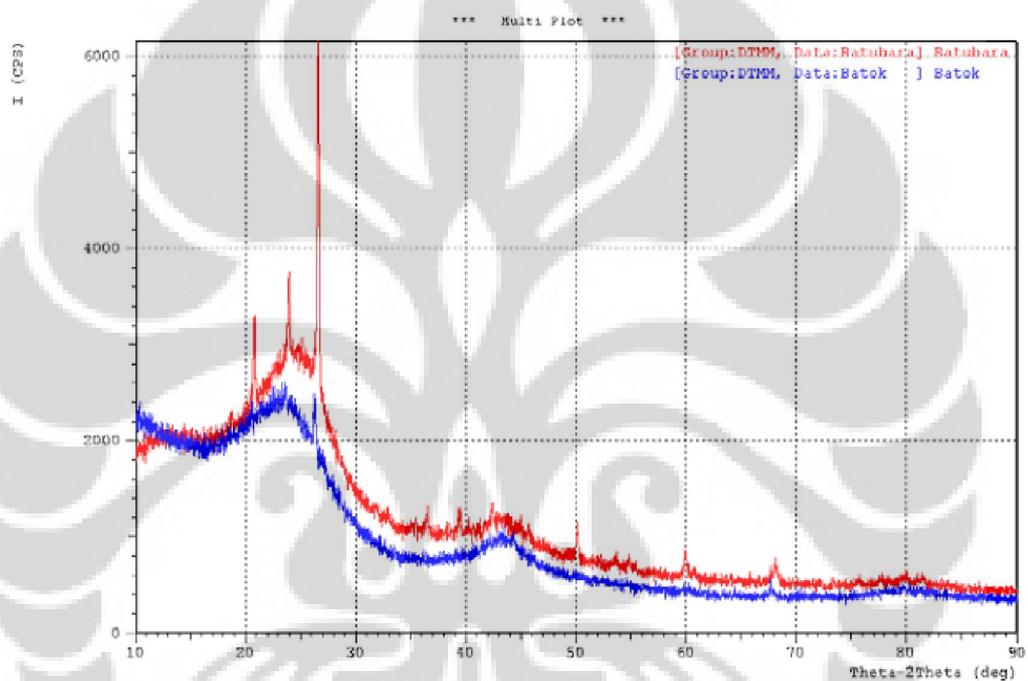
### XRD karbon aktif arang batok mekanokimia kering

Group Name : 76  
 Data Name : BK\_Kering  
 File Name : BK\_Kering.PXR  
 Sample Name : BK\_Kering  
 Comment :

<Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	41-1476	KCl	0.482	0.750 ( 6/15)	0.791	0.279	0.165
		Potassium Chloride ( Sylvite, syn )	1.99		Fm-3m		
2	46-1045	SiO2	0.193	0.182 ( 4/58)	0.532	0.070	0.007
		Silicon Oxide ( Quartz, syn )	2.65		P3221		

### Komposisi karbon aktif arang batok mekanokimia kering



Karbon aktif batok kelapa dan batubara granular (*as-received*)

## Lampiran 4. Hasil SEM

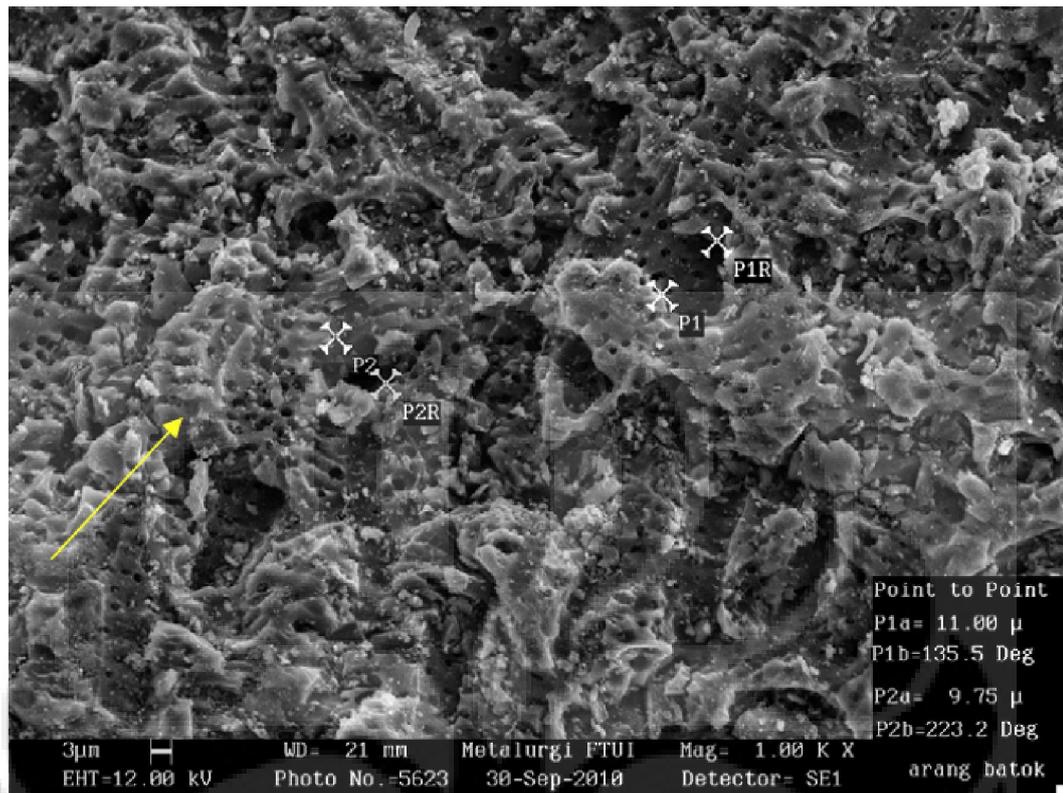
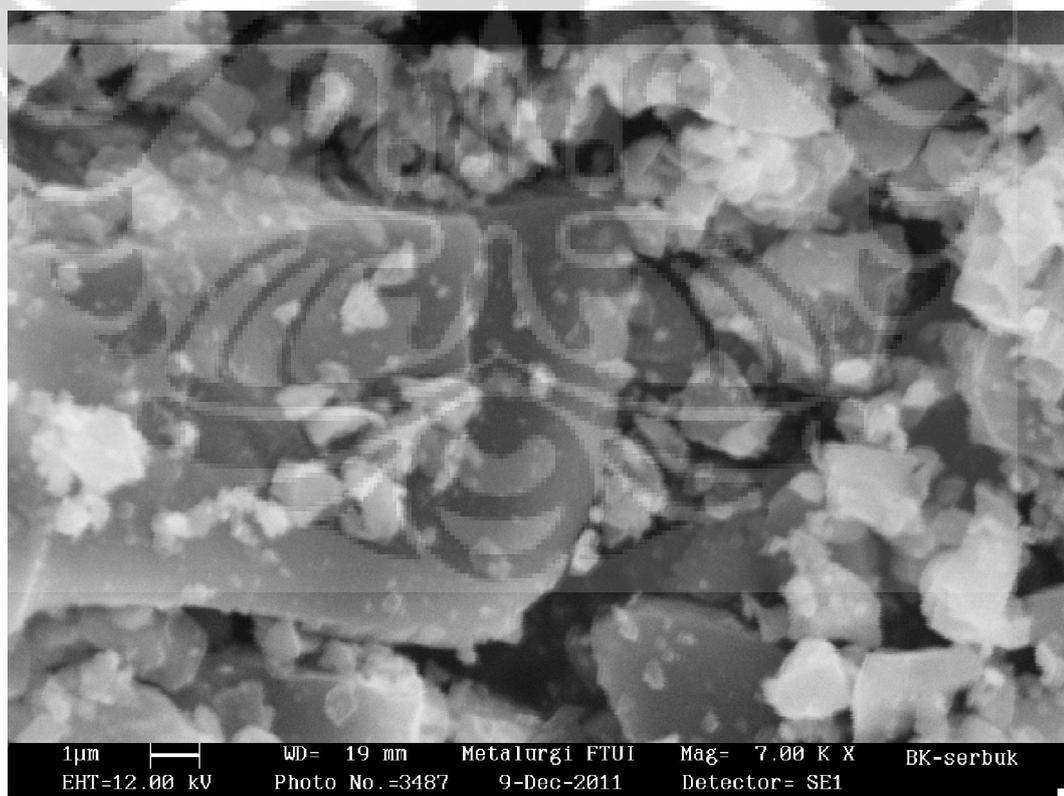
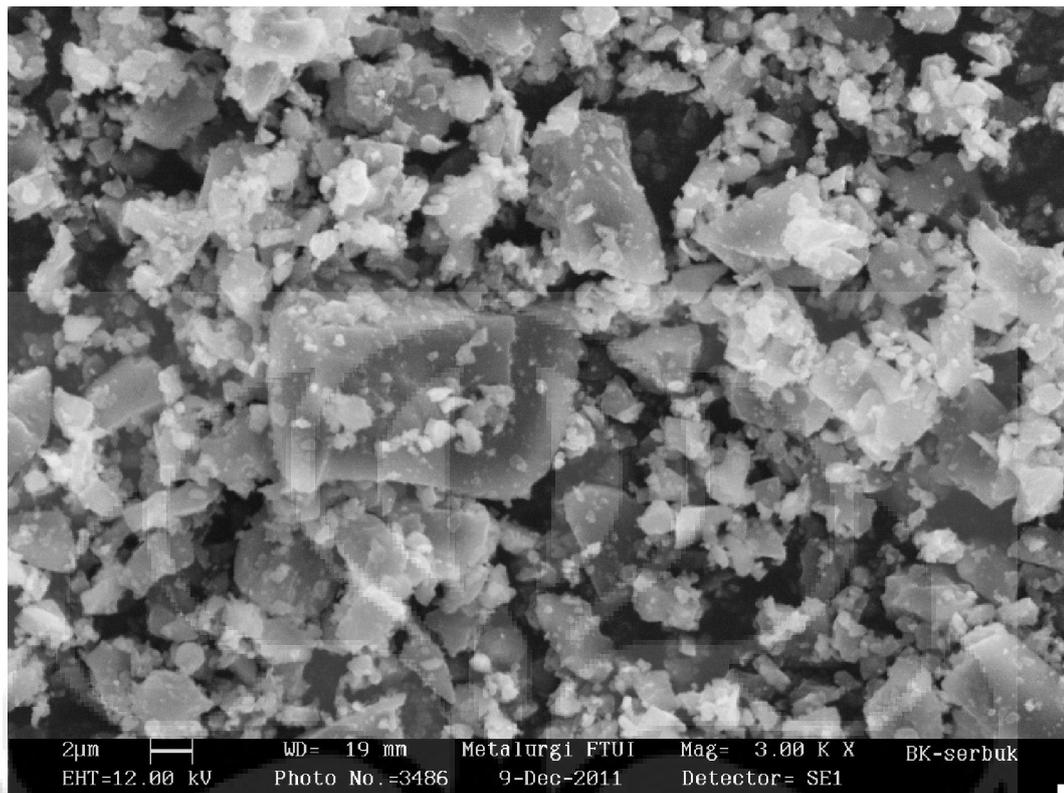
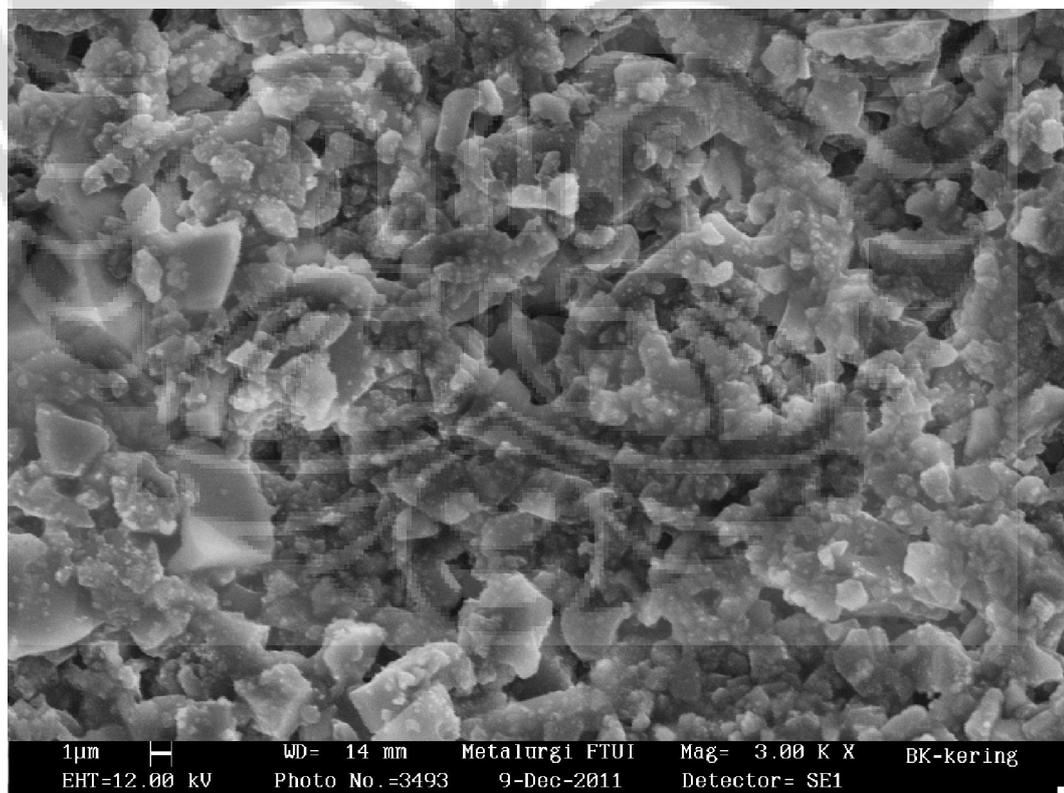
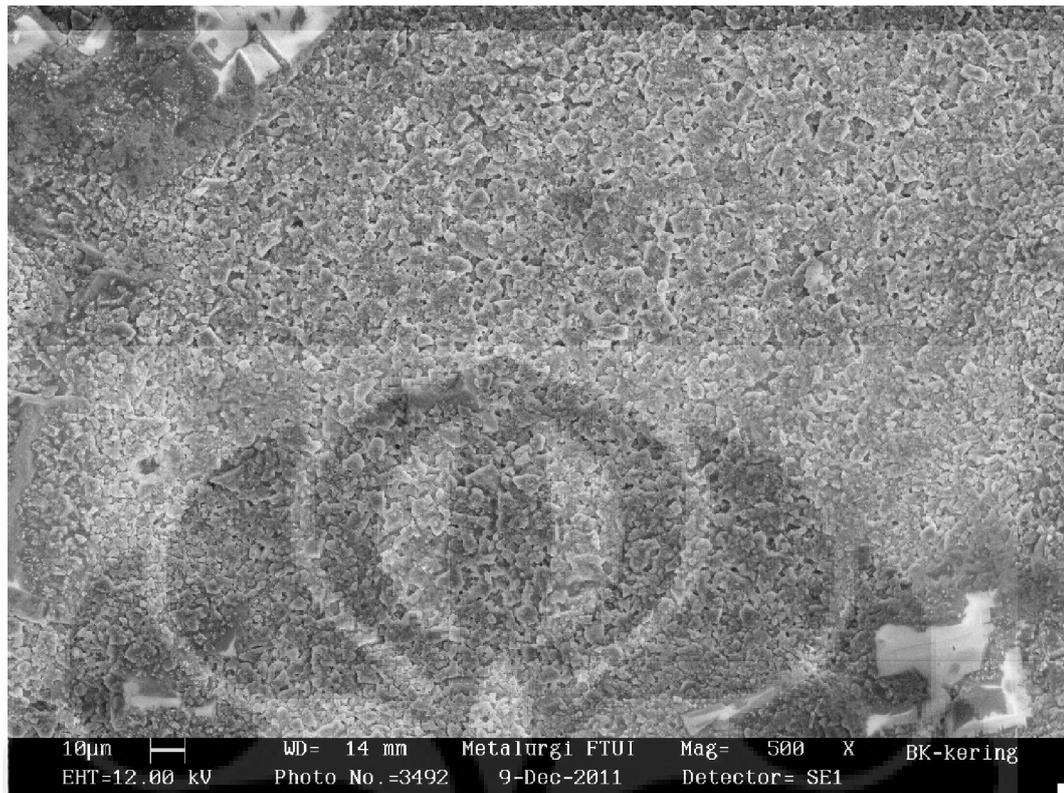


Foto SEM karbon aktif arang batok kelapa sampel awal



**Foto SEM karbon aktif arang batok hasil PBM 30 jam**



**Foto SEM karbon aktif arang batok pelet mekanokimia kering**

(lanjutan)

