



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI BAMBU DENGAN  
METODE AKTIVASI TERKONTROL MENGGUNAKAN  
*ACTIVATING AGENT*  $H_3PO_4$  DAN KOH**

**SKRIPSI**

**SITI TIAS MIRANTI**

**0806333493**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI BAMBU DENGAN  
METODE AKTIVASI TERKONTROL MENGGUNAKAN  
*ACTIVATING AGENT*  $H_3PO_4$  DAN KOH**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana**

**SITI TIAS MIRANTI**

**0806333493**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Siti Tias Miranti

NPM : 0806333493

Tanda Tangan : 

Tanggal : 27 Juni 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Siti Tias Miranti  
NPM : 0806333493  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan *Activating Agent*  $H_3PO_4$  Dan KOH

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., Ph.D

Penguji : Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA

Penguji : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng

Pengaji : Elsa Krisanti, Ph.D

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Juni 2012



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah skripsi ini. Skripsi berjudul “**Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan *Activating Agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan KOH**” dibuat untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, masukan, diskusi, serta persetujuan sehingga makalah skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
- Prof. Dr. Ir Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Seluruh dosen Departemen Teknik Kimia UI yang telah mengajar dan memberi pengetahuan selama menjadi mahasiswa teknik kimia.
- Keluarga penulis, terutama kedua orang tua serta kakak penulis yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun material.
- Sahabat-sahabat penulis serta rekan satu penelitian pembuatan karbon aktif, Ima, Desy, Farah, Kanya, Inggit, Maria, Ayu, Fanny, Gina, Haryo, Ibnu, Lydia, Shofa atas persahabatan, bantuan, dan dukungannya selama ini.
- Teman-teman Teknik Kimia UI 2008 yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas persahabatan dan keceriaan yang diberikan selama ini.
- Mang Ijal, Kang Jajat, Mba Tiwi, Mas Eko dan Mas Taufik yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini

Akhir kata, penulis berharap agar makalah skripsi ini bermanfaat bagi orang yang membacanya dalam rangka pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 4 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Siti Tias Miranti  
NPM : 0806333493  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
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 :

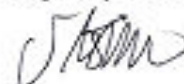
**Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol  
Menggunakan *Activating Agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan KOH**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/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 : 27 Juni 2012

Yang menyatakan



(Siti Tias Miranti)

## ABSTRAK

Nama : Siti Tias Miranti  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode  
Aktivasi Terkontrol Menggunakan *Activating Agent*  
H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan KOH

Pada penelitian pembuatan karbon aktif dari bambu ini digunakan metode aktivasi kimia dengan menggunakan variasi *activating agent*, yakni H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan KOH dengan rasio massa *activating agent*/massa karbon 1/1, 2/1, dan 3/1. Aktivasi dilakukan pada temperatur 700°C selama 1 jam. Luas permukaan tertinggi yang direpresentasikan dengan bilangan iodin sebesar 772,08 mg/g diperoleh dengan aktivasi menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan rasio massa *activating agent*/massa karbon 3/1, sedangkan aktivasi menggunakan KOH diperoleh bilangan iodin tertinggi sebesar 744,92 mg/g dengan rasio massa *activating agent*/massa karbon 3/1. Sebagai pembanding, juga dilakukan pembuatan karbon aktif dengan metode aktivasi fisika dan diperoleh bilangan iodin karbon aktif sebesar 283,38 mg/g.

Kata Kunci: adsorpsi, karbon aktif, bambu, luas permukaan, bilangan iodin

## ABSTRACT

Name : Siti Tias Miranti  
Major : Chemical Engineering  
Title : Preparation of Activated Carbon from Bamboo by Controlled Activation Method using  $H_3PO_4$  and KOH as Activating Agent

This research aims to produce activated carbon from bamboo as the raw materials. In this research controlled by the activation method using variation of activating agent,  $H_3PO_4$  and KOH with a mass ratio of activating agent/carbon mass are 1/1, 2/1, and 3/1. It also performed at  $700^\circ C$  activation temperature for 1 hour. The highest iodine number of 772.08 mg/g obtained by activation using  $H_3PO_4$  with a mass ratio of activating agent/carbon mass 3/1, whereas activation with KOH obtained the highest iodine number of 744.92 mg/g with a mass ratio of activating agent/carbon mass 3/1. For comparison, the study was also carried out the manufacture of activated carbon by physical activation method and the iodine number of activated carbon obtained at 283.38 mg/g.

Keywords: adsorption, activated carbon, bamboo, surface area, iodine number

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Adsorpsi.....	5
2.1.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi.....	7
2.2 Karbon Aktif .....	8
2.2.1 Sejarah dan Perkembangan Karbon Aktif.....	10
2.2.2 Kegunaan Karbon Aktif.....	11
2.2.3 Struktur Fisik dan Struktur Kimia Karbon Aktif.....	13
2.2.4 Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif .....	14
2.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif.....	15
2.4 Bambu Sebagai Bahan Dasar Karbon Aktif .....	19

2.5 Metode Analisis Luas Permukaan.....	23
2.5.1 Metode Analisis BET (Braun Emmet Teller) .....	23
2.5.2 Metode Bilangan Iodin .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Alat dan Bahan Penelitian .....	27
3.1.1 Alat .....	27
3.1.2 Bahan .....	28
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	29
3.3 Variabel Penelitian .....	30
3.4 Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1 Karbonisasi dan Aktivasi .....	30
3.4.2 Pendinginan.....	31
3.4.3 Pencucian .....	32
3.4.4 Pengeringan.....	32
3.4.5 Teknik Pengambilan Data, Pengolahan Data, dan Analisis.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu .....	34
4.1.1 Hasil Proses Karbonisasi.....	34
4.1.2 Hasil Pencampuran dengan <i>Activating Agent</i> .....	38
4.1.3 Hasil Proses Aktivasi.....	41
4.1.4 Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif setelah Pengeringan .....	46
4.2 Analisis Luas Permukaan .....	49
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Penampang Karbon Aktif .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Ilustrasi Tempat Terjadinya Adsorpsi .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Struktur Fisik Karbon Aktif .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Struktur Kimia Karbon Aktif .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Mekanisme Pembentukan Pori pada Pembuatan Karbon Aktif .....	15
<b>Gambar 2.6</b> Struktur Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Aktivasi .....	18
<b>Gambar 2.7</b> Bambu Betung .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Elemen-elemen yang terdapat dalam bambu .....	20
<b>Gambar 2.9</b> Pendekatan Isoterm Adsorpsi BET .....	23
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Reaktor Aktivasi .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Bambu yang telah Dihaluskan .....	35
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Proses Karbonisasi .....	35
<b>Gambar 4.3</b> Penghalusan Bambu Menggunakan Penyaring 200 mesh .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Arang Bambu yang telah Dihaluskan .....	38
<b>Gambar 4.5</b> Proses Pencampuran Arang Bambu dengan <i>Activating Agent</i> .....	40
<b>Gambar 4.6</b> Reaktor untuk Aktivasi pada Pembuatan Karbon aktif .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Proses Pencucian dan Penyaringan Karbon Aktif .....	47
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Karbon Aktif .....	48
<b>Gambar 4.9</b> Hubungan Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa <i>Activating Agent</i> /Massa Arang serta Aktivasi Fisika sebagai Pembanding .....	53
<b>Gambar 4.10</b> Hubungan antara Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa <i>Activating Agent</i> /Massa Arang untuk Aktivasi Kimia Menggunakan $H_3PO_4$ .....	54
<b>Gambar 4.11</b> Hubungan antara Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa <i>Activating Agent</i> /Massa Arang untuk Aktivasi Kimia Menggunakan KOH .....	55

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kegunaan Karbon Aktif .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Penelitian Terdahulu Pembuatan Karbon Aktif .....	20
<b>Tabel 4.1</b> Neraca Massa Karbon dan Arang dari Bambu .....	36
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pencampuran Larutan <i>Activating Agent</i> dengan Arang Bambu..	40
<b>Tabel 4.3</b> Tabel Hasil Pengamatan selama Proses Aktivasi .....	43
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Proses Aktivasi .....	44
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan antara Massa Arang Bambu dan Massa yang keluar Reaktor.....	45
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan.....	48
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Pengujian Bilangan Iodin Karbon Aktif .....	50
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Luas Permukaan Karbon Aktif.....	50



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada berbagai industri yang berkembang di Indonesia, sering muncul masalah yang berkaitan dengan pemurnian gas, seperti gas beracun, bau busuk dan asap pada industri gas dan pengolahan LNG, bau pada industri obat dan makanan, warna dan rasa yang tidak enak pada industri minuman, serta adanya polutan pada industri pengolahan air. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan industri diatas adalah dengan proses pemisahan atau adsorpsi. Hal yang paling penting di dalam proses adsorpsi adalah pemilihan jenis adsorben yang baik. Salah satu adsorben yang paling potensial adalah karbon aktif. Karbon aktif merupakan merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (Chand et al., 2005). Selain dapat dipakai untuk mengatasi permasalahan industri, karbon aktif dapat juga digunakan sebagai penyimpanan gas (*gas adsorptive storage*). Untuk aplikasi proses pemisahan maka distribusi pori adsorben menjadi sesuatu yang penting, sedangkan untuk pemakaiannya sebagai *storage*, seperti untuk *storage* gas hidrogen dan metana, luas permukaan adsorben menjadi lebih utama (Sudibandriyo, 2003).

Selama ini pengembangan pembuatan karbon aktif sudah dilakukan dengan menggunakan menggunakan batubara (*bituminus coal*) dan material organik dengan kandungan karbon yang tinggi seperti tempurung kelapa, serat kayu, dan limbah agrikultur seperti bambu (Mui et al., 2010). Salah satu material yang juga dapat digunakan adalah tanaman bambu. Bambu dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk serta ringan sehingga mudah diangkut. Dari kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 negara, sekitar 200 spesies dari 20 negara ditemukan di Asia Tenggara (Dransfield, 1995), sedangkan di Indonesia ditemukan sekitar 60 jenis. Beberapa

sifat kimia bambu meliputi kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika. Kadar selulosa berkisar antara 42,4%-53,6%, kadar lignin bambu berkisar antara 19,8%-26,6%, sedangkan kadar pentosan 1,24%-3,77%, kadar abu 1,24%-3,77%, kadar silika 0,10%-1,78% (Krisdianto et al., 2000). Dari sifat-sifat tersebut terlihat bahwa bambu memiliki kriteria sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif.

Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk menghasilkan karbon yang berpori, yaitu dengan cara dekomposisi termal material organik melalui yang melalui tiga tahapan yaitu; dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi (Benefield et al., 1982). Saat ini telah dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari bambu dengan *activating agent*  $H_3PO_4$  dengan dialiri steam atau  $CO_2$  dan menghasilkan luas permukaan rata-rata adalah  $1250 \text{ m}^2/\text{g}$  (Baksi, 2003). Ditemukan pula pembuatan karbon aktif dari bambu dengan menggunakan  $H_3PO_4$  pada suhu  $600^\circ\text{C}$  dengan waktu aktivasi empat jam dan laju pemanasan  $1^\circ\text{C}/\text{menit}$  yang dapat menghasilkan luas permukaan cukup besar yakni  $2123 \text{ m}^2/\text{g}$  (Ip et al., 2008). Sementara itu, Pujiyanto telah melakukan penelitian dengan menggunakan *activating agent* KOH dengan bahan baku batubara yang menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan terbesar sebesar  $1882 \text{ m}^2/\text{g}$ . Untuk bahan baku batubara pada variasi suhu  $700\text{-}900^\circ\text{C}$ , semakin tinggi suhu maka semakin tinggi luas permukaan. Sedangkan untuk bahan baku material lignoselulosa, semakin tinggi suhu maka semakin rendah luas permukaan yang didapat. Suhu maksimum untuk mendapatkan luas permukaan yang besar berada pada suhu  $700^\circ\text{C}$  (Pujiyanto, 2010). Metode aktivasi terkontrol dengan penambahan *activating agent* serta mengalirkan gas  $N_2$  dimaksudkan agar tidak terdapat oksigen yang dapat menyebabkan pembakaran karbon. Dari penelitian terdahulu tersebut, maka akan dilakukan pembuatan karbon aktif dari bambu pada temperatur  $700^\circ\text{C}$  dengan variasi *activating agent*  $H_3PO_4$  dan KOH. Selain itu digunakan pula perbandingan komposisi *activating agent* dengan bahan baku sebagai variabel. Sebagai pembanding juga akan dilakukan pembuatan karbon aktif dengan metode aktivasi fisika. Dengan penelitian menggunakan bambu betung yang kadar karbonnya tinggi yakni sekitar 47,6% dan metode aktivasi terkontrol diharapkan dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan juga memiliki daya adsorpsi yang besar.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh metode aktivasi kimia terkontrol terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi *activating agent* yang digunakan pada tahap aktivasi terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh perbandingan rasio *activating agent* dengan bahan baku yang digunakan terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membuat karbon aktif dari bahan alami yang mengandung karbon tinggi di Indonesia, yakni bambu.
2. Mengetahui pengaruh metode aktivasi kimia terkontrol terhadap kualitas karbon aktif yang ditunjukkan dengan luas permukaannya.
3. Mengetahui *activating agent* terbaik terhadap pembentukan luas permukaan karbon aktif.
4. Mengetahui perbandingan komposisi terbaik terhadap pembentukan luas permukaan karbon aktif.
5. Membandingkan kualitas karbon aktif yang dihasilkan dengan penelitian sebelumnya.

## 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini merupakan penjabaran ruang lingkup penelitian ini:

1. Bambu yang digunakan berupa bambu betung yang memiliki kadar karbon yang cukup tinggi, yakni sekitar 47,6%.
2. Menggunakan metode aktivasi kimia terkontrol.
3. *Activating agent* yang digunakan berupa  $H_3PO_4$  dan KOH.
4. Temperatur aktivasi yang digunakan adalah  $700^\circ C$  (pemanasan bertahap  $10^\circ C$ /menit) dengan waktu aktivasi 1 jam.

5. Gas yang dialirkan pada proses aktivasi adalah gas  $N_2$  dengan laju alir 200 ml/menit.
6. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan.
7. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis *activating agent* ( $H_3PO_4$  atau KOH) dan rasio massa *activating agent* dengan massa arang bambu (1/1, 2/1, 3/1).

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu:

#### BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

#### BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan prinsip dasar adsorpsi, pengertian karbon aktif dan bahan bakunya, pembuatan karbon aktif dari bambu, analisis luas permukaan karbon aktif dan resume penelusuran jurnal penelitian.

#### BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, serta prosedur penelitian.

#### BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian serta analisis dari hasil penelitian tersebut.

#### BAB V: KESIMPULAN

Bab ini membahas kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil penelitian yang dilakukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapannya. Adsorpsi menggunakan istilah adsorben dan adsorbat, dimana adsorben adalah merupakan suatu penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon, sedangkan adsorbat adalah merupakan suatu media yang diserap (Soedarsono dan Syahputra, 2005). Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: (Treybal, 1980)

##### 1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals merupakan gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa yang reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150-200°C selama 2-3 jam.

##### 2. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia yaitu adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer. Pada adsorpsi kimia yang terpenting ialah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer sehingga pendekatan yang digunakan ialah dengan menentukan kondisi reaksi. Hal tersebut dapat mengatur hanya

adsorpsi kimia saja yang terjadi dan hanya membentuk monolayer. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi di atas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat.

Proses adsorpsi pada suatu adsorben terutama terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*). Sementara itu, *macropore* hanya berperan sebagai tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke *micropore*. Daya serap adsorbat bergantung pada karakteristik adsorben, temperatur, tekanan, dan jenis adsorbat. Adsorpsi gas pada permukaan zat padat menyebabkan terjadinya kesetimbangan antara gas yang terserap dengan gas sisa. Oleh karena itu, daya serap adsorben dipengaruhi oleh besarnya tekanan dan temperatur. Semakin besar tekanan, maka semakin banyak pula zat yang diserap, sedangkan semakin tinggi suhu untuk adsorpsi fisik, maka semakin sedikit jumlah zat yang terserap (Atmayudha, 2007).

Adsorpsi juga dapat dibagi menjadi adsorpsi fasa uap dan adsorpsi fasa cair. Contoh penerapan adsorpsi fasa uap antara lain ialah pemulihan pelarut organik yang digunakan pada zat, tinta cetak, serta larutan untuk pembuatan film atau pelapisan tekstil. Adsorpsi dari fasa zat cair digunakan untuk memisahkan komponen-komponen organik dari limbah-limbah air, dan air dari zat cair organik. Adsorpsi juga dapat digunakan untuk memulihkan reaksi yang tidak mudah dipisahkan dengan kristalisasi atau distilasi. Beberapa adsorben jenis yang sama dapat digunakan baik untuk adsorpsi fasa uap maupun adsorpsi fasa cair. Namun, biasanya adsorben dengan pori-pori besar lebih disukai untuk penggunaan dengan zat cair (Mc.Cabe et al., 1999). Saat ini, adsorben yang paling banyak digunakan ialah karbon aktif karena luas permukaan yang dimilikinya cukup tinggi sehingga daya adsorpsinya lebih baik dibandingkan dengan adsorben lain.

### 2.1.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben: (Treybal, 1980)

#### 1. Jenis Adsorbat

##### a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul merupakan hal yang sangat penting diperhatikan supaya proses adsorpsi dapat terjadi dan berjalan dengan baik. Ukuran molekul adsorbat nantinya mempengaruhi ukuran pori dari adsorben yang digunakan. Molekul-molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil dari diameter pori adsorben.

##### b. Kepolaran Zat

Sifat kepolaran dari adsorbat dan adsorben juga mempengaruhi proses adsorpsi. Misalnya karbon aktif, untuk molekul yang berdiameter sama, molekul-molekul non-polar lebih kuat diadsorpsi oleh karbon aktif daripada molekul-molekul yang polar.

#### 2. Karakteristik Adsorben

##### a. Kemurnian Adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

##### b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi, adsorben seringkali ditingkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

#### 3. Temperatur

Berdasarkan prinsip Le Chatelier, maka proses adsorpsi yang merupakan proses eksotermis, dengan peningkatan temperatur pada tekanan tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorpsi.

#### 4. Tekanan adsorbat

Pada adsorpsi fisika, jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah seiring dengan naiknya tekanan adsorbat, sedangkan pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang diadsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan adsorbat.

## 2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan yang berupa karbon amorf yang mempunyai luas permukaan yang sangat besar yaitu 200 sampai 2000 m<sup>2</sup>/g. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya. Luas permukaan yang besar ini disebabkan karena mempunyai struktur pori-pori. Pori-pori inilah yang menyebabkan karbon aktif mempunyai kemampuan untuk menyerap (Sudibandriyo, 2003).

Secara umum, ada dua jenis karbon aktif yaitu karbon aktif fasa cair dan karbon aktif fasa gas.

#### a. Karbon aktif fasa cair

Karbon aktif fasa cair biasanya berbentuk *powder* yang sangat halus, diameter pori mencapai 1000 Å<sup>0</sup>, dihasilkan dari bambu kuning, serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah, rapuh (mudah hancur), mempunyai kadar abu yang tinggi berupa silika dan biasanya digunakan untuk menghilangkan bau, rasa, warna, dan kontaminan organik lainnya.

#### b. Karbon aktif fasa gas

Karbon aktif fasa gas biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras diameter pori berkisar antara 10-200 Å<sup>0</sup> dan mempunyai tipe pori lebih halus. Karbon aktif fasa gas seperti pada gambar 2.1 diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai berat jenis tinggi dan biasa digunakan untuk memperoleh kembali pelarut, katalis, pemisahan, dan pemurnian gas.

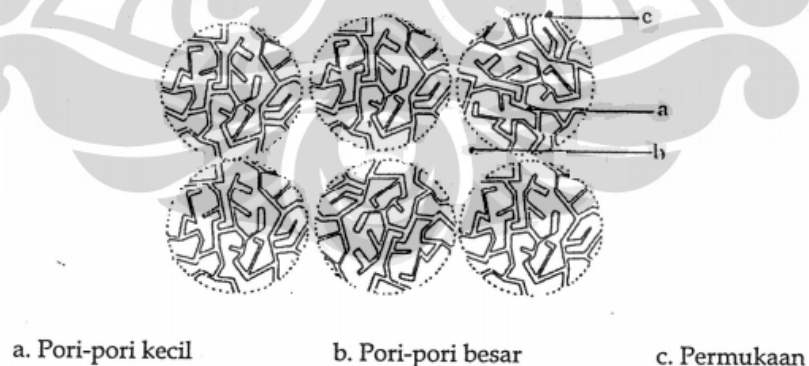




**Gambar 2.1** Penampang Karbon Aktif (Aurorra, 2011)

Secara umum, ukuran pori karbon aktif dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu *micropore*, *mesopore* dan *macropore*.

1. *Micropore* adalah pori-pori dengan ukuran lebih kecil dari 2 nm dan ini merupakan area dimana adsorpsi dominan terjadi. Volume pori-pori ini berkisar antara 0,15 – 0,5 ml/g.
2. *Mesopore* adalah pori-pori dengan ukuran 2 – 50 nm dan merupakan area adsorpsi dominan kedua setelah *micropore*. *Mesopore* sering juga disebut transitional pore atau area transisi. Volume *mesopore* berkisar antara 0,02 – 10 ml/g.
3. *Macropore* adalah pori-pori dengan ukuran lebih besar dari 50 nm dan berfungsi sebagai pintu masuk adsorbat menuju ke dalam *micropore*.



**Gambar 2.2** Ilustrasi Tempat Terjadinya Adsorpsi (Suryawan, 2004)

Sifat utama yang membedakan karbon adsorben gas dan karbon fasa cair adalah distribusi dan ukuran pori-porinya. Karbon adsorben gas biasanya memiliki jumlah pori-pori paling banyak pada area *micropore* sedangkan karbon fasa cair memiliki jumlah pori-pori terbanyak pada area transisi. Namun pada umumnya, karbon fasa cair memiliki luas permukaan hampir sama dengan karbon adsorben gas, tapi dengan volume pori-pori yang lebih besar.

Karbon aktif bisa diproduksi dari berbagai macam bahan mentah yang memiliki kandungan karbon tinggi. Dan bahan mentah umum yang digunakan secara komersial untuk karbon fasa cair adalah arang, *sawdust*, lignit, *fly ash*, dan arang (*coke*) minyak.

### 2.2.1 Sejarah dan Perkembangan Karbon Aktif

Sejarah karbon aktif dimulai dari tahun 1600 SM, di mana arang kayu pada saat itu telah digunakan dalam dunia pengobatan di Mesir. Pada abad ke 13 M, sebuah sumur di Jepang sudah dilengkapi dengan filter arang sebagai penyaring. Kemudian pada tahun 1773, seorang ahli kimia asal Swedia, Karl Wilhem Scheele, menemukan pertama kali suatu fenomena adsorpsi gas-gas oleh arang (*charcoal*).

Pada tahun 1785, Lovits dari Rusia menemukan bahwa arang bila dicelupkan kedalam larutan asam tartar (*tartaric acid*), dapat menghilangkan warna dimana akan terjadi adsorpsi kandungan organik yang terkandung oleh arang tadi. Di Inggris pada tahun 1794, arang atau karbon ini mulai diterapkan dalam skala industri, yang digunakan sebagai *decolorizing agent* pada pabrik sirup.

Pada tahun 1900 – 1901, R. V. Ostrejko mendapatkan hak paten pertama yang memberikan prospek baru dalam teknologi pembuatan karbon aktif. Hak paten yang diperoleh adalah proses pemanasan bahan material dengan logam klorida serta pembuatan *charcoal* yang menggunakan karbon dioksida dan uap air.

Pada tahun 1909 di Raciborz, suatu wilayah di Jerman, didirikan suatu pabrik penghasil karbon aktif pertama kalinya dalam skala komersial yang diberi nama EPONIT. Produk ini merupakan pengembangan dari hak paten yang di

peroleh Ostrejko. Kemudian pada tahun 1911 berkembang produksi karbon aktif yang dikenal dengan nama *norit*, yang diperoleh dari *peat* dengan aktivasi oleh uap air. Sedangkan di Amerika serikat produksi komersial baru dilakukan pada 1913 oleh Westvaco Corp., dibawah nama Further dengan menggunakan bahan dari hasil samping proses pembuatan kertas. Further Milestones melakukan pengembangan dalam memproduksi karbon aktif ini sesudah Perang Dunia I seiring dengan kebutuhan untuk masker gas beracun sehingga temuan inovatif untuk menghasilkan karbon aktif granular dari tempurung kelapa pada tahun 1915.

Sesudah peperangan, kegunaan karbon aktif tersebut berkembang dalam skala besar dan komersial terutama untuk membersihkan gula bit dan sirup jagung dan juga untuk pembersihan air minum. Oleh karena adanya pembatasan suplai arang kelapa dari Filipina dan India selama Perang Dunia II pada tahun 1940, pengembangan karbon aktif mulai diproduksi tidak hanya dari tempurung kelapa, tetapi juga dari bahan baku batubara.

Dalam dua dekade terakhir, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dari karbon serta fenomena adsorpsi permukaan karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben untuk buangan gas, seperti misalnya penghilangan  $CS_2$  dari udara, kontaminasi dalam air atau larutan, pengolahan air dan limbah, dan lain sebagainya. Selain itu karbon aktif juga digunakan sebagai penyangga katalis dan elektroda pada proses elektrokimia.

### **2.2.2 Kegunaan Karbon Aktif**

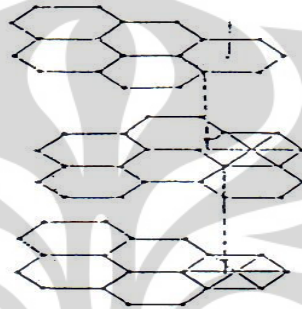
Kegunaan karbon aktif dalam industri dapat berupa pemurnian gas, katalisator, sebagai penyaring dan penghilang bau pada industri obat dan makanan, penyaring air, penghilang bau dalam industri pengolahan air, sebagai pelarut yang dapat digunakan kembali, dan penyimpan energi (*gas adsorptive storage*) (Liou, 2010). Seperti disebutkan sebelumnya, karbon aktif adalah adsorben yang multifungsi. Berikut dapat dilihat pada Tabel 2.1 beberapa manfaat dan kegunaan karbon aktif dalam dunia industri :

Tabel 2.1 Kegunaan Karbon Aktif

Tujuan	Kegunaan
<b><u>Fasa Gas</u></b>	
<b>1. Pemurnian gas</b>	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun, bau busuk dan asap, menyerap racun.
<b>2. Pengolahan LNG</b>	Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas.
<b>3. Katalisator</b>	Reaksi katalisator atau pengangkutan vinil klorida dan vinil asetat.
<b>4. Lain-lain</b>	Menghilangkan bau dalam kamar dan mobil berpendingin.
<b><u>Fasa Cair</u></b>	
<b>1. Industri obat dan makanan</b>	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, dan rasa yang tidak enak pada makanan.
<b>2. Industri minuman</b>	Menghilangkan warna, bau, dan rasa pada minuman, baik minuman ringan maupun minuman keras.
<b>3. Kimia perminyakan</b>	Penyulingan bahan mentah dan zat perantara.
<b>4. Pemurnian air</b>	Menghilangkan bau, warna, dan zat pencemar dalam air, sebagai pelindung dan penukar resin dalam penyulingan air.
<b>5. Pembersih air buangan</b>	Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar serta menghilangkan warna, bau dan logam berat.
<b>6. Penambakan udang dan Benur</b>	Pemurnian air, menghilangkan bau dan warna.
<b>7. Pelarut yang digunakan kembali</b>	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil asetat dan lain-lain.
<b><u>Lain-lain</u></b>	
<b>1. Pengolahan pulp</b>	Pemurnian dan penghilangan bau
<b>2. Pengolahan pupuk</b>	Pemurnian
<b>3. Pengolahan emas</b>	Pemurnian
<b>4. Penyaringan minyak makan</b>	Menghilangkan bau, warna, dan rasa

### 2.2.3 Struktur Fisik dan Struktur Kimia Karbon Aktif

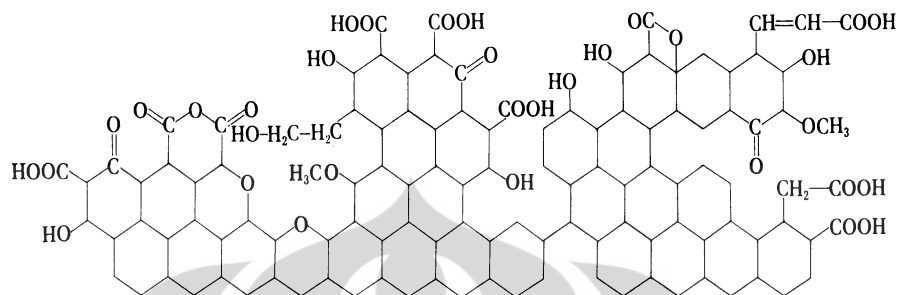
Karbon aktif disusun oleh atom-atom karbon yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi yang hexagonal. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit seperti pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Struktur Fisik Karbon Aktif (Sontheimer, 1985)

Daerah kristalin memiliki ketebalan 0,7-1,1 nm, jauh lebih kecil dari grafit. Hal ini menunjukkan adanya 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristal-kristal karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan atom-atom lainnya terutama oksigen. Susunan karbon yang tidak teratur ini diselingi oleh retakan-retakan dan celah yang disebut pori dan kebanyakan berbentuk silindris.

Kemampuan karbon aktif mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H, dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsional seperti pada gambar 2.4 berikut. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya (Pujiyanto, 2010).



**Gambar 2.4** Struktur Kimia Karbon Aktif (Jankowska, 1991)

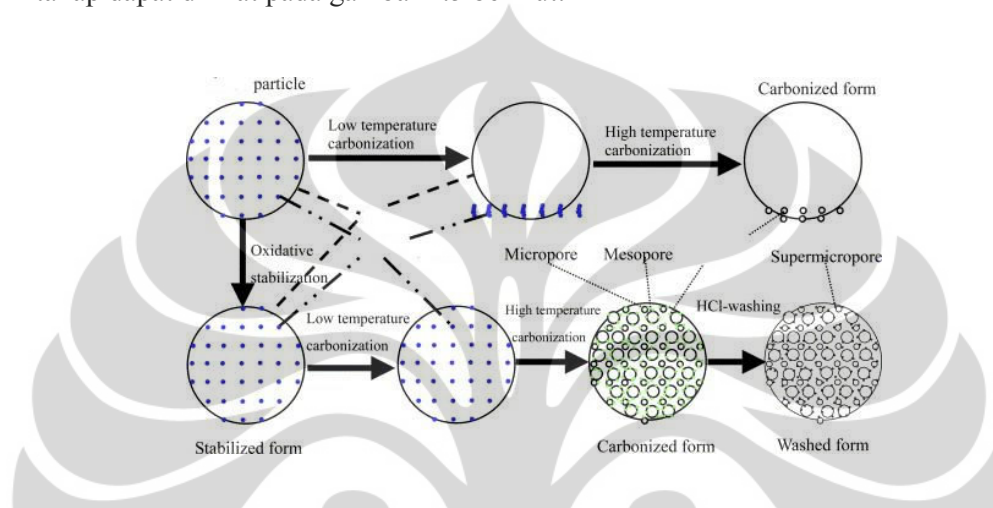
#### 2.2.4 Bahan Baku Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dapat dibuat dari bahan baku yang memiliki kandungan karbon. Selama ini, sebagian besar karbon aktif berbahan baku batubara yang dapat menghasilkan luas permukaan yang besar. Berdasarkan penelitian, luas permukaan karbon aktif dari batubara pernah mencapai 3300 m<sup>2</sup>/g yang diukur dengan menggunakan metode BET (Hsu dan Teng, 2000) dan juga penelitian di Universitas Indonesia dengan bahan baku batubara menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan 1882 m<sup>2</sup>/g (Pujiyanto, 2010).

Seiring dengan perkembangan zaman, bahan baku karbon aktif dari material organik yang memiliki kandungan karbon yang cukup besar mulai dikembangkan. Material yang mengandung lignoselulosa seperti tempurung kelapa, serat kayu, dan limbah agrikultur seperti bambu dapat digunakan untuk pembuatan karbon aktif karena ketersediaannya yang cukup banyak dan sebagai representatif sumber daya alam yang terbarukan (Mui et al., 2010). Beberapa penelitian pernah dilakukan untuk membuat karbon aktif dari tempurung kelapa dan hasilnya cukup memuaskan. Penelitian yang pernah dilakukan mendapatkan luas permukaan karbon aktif dari tempurung kelapa sebesar 684 m<sup>2</sup>/g (Pujiyanto, 2010). Berdasarkan luas permukaan dan ketersediaannya di alam, maka material yang mengandung lignoselulosa dapat dikategorikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif, salah satunya adalah bambu yang akan digunakan pada penelitian ini.

### 2.3 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara garis besar, ada tiga tahap pembuatan karbon aktif, yaitu proses dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi. Ketiga proses ini bertujuan untuk membentuk pori-pori pada karbon agar mendapatkan luas permukaan besar untuk mengadsorpsi suatu zat. Secara umum, mekanisme pembentukan pori pada karbon aktif di setiap tahap dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut:



**Gambar 2.5** Mekanisme Pembentukan Pori pada Tahap Pembuatan Karbon Aktif (Qiaoa, 2006)

#### 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. Dari proses dehidrasi ini, diperoleh bahan baku yang kering. Hal ini disebabkan oleh 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*. Proses ini 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 (Cheremisnoff, 1993).

Karbonisasi dilakukan pada temperatur 400-600°C dalam suatu sistem yang sedikit mungkin berhubungan dengan udara. Untuk mempertinggi daya serap karbon perlu dilakukan tahapan selanjutnya yaitu proses aktivasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karbonisasi adalah kadar air, ketebalan bahan baku, kekerasan bahan baku, udara sekeliling dapur pembakaran (*furnace*), dan waktu pemanasan.

Selama karbonisasi banyak elemen non karbon, hidrogen, dan oksigen di ubah menjadi gas oleh dekomposisi pirolisis dari bahan mula-mula, dan atom-atom karbon bebas mengelompok dalam formasi kristalografis yang dikenal sebagai kristal grafit. Susunan kristal tidak beraturan, sehingga celah-celah bebas tetap ada di antaranya dan rupanya hasil dari penumpukan dan dekomposisi bahan-bahan tar ini mengotori atau paling sedikit memblokir karbon yang tidak terorganisasi (*amorph*). Bahan karbon yang demikian kemudian dapat di aktivasi secara parsial dengan mengubah produk tar dengan memanaskannya dalam aliran gas inert, atau dengan mengekstraksinya menggunakan solvent yang sesuai, atau dengan reaksi kimia (Rodriguez-Reinoso dan Buss, 1993).

### 3. Proses Aktivasi

Aktivasi arang berarti penghilangan zat-zat yang menutupi pori-pori pada permukaan arang. Hidrokarbon pada permukaan arang dapat dihilangkan melalui proses oksidasi menggunakan oksidator yang sangat lemah ( $\text{CO}_2$  dan uap air) agar atom karbon yang lain tidak turut teroksidasi. Selain itu dapat juga dilakukan proses dehidrasi dengan garam-garam seperti  $\text{ZnCl}_2$  atau  $\text{CaCl}_2$ . Unsur mineral akan masuk di antara plat-plat heksagonal dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup, sehingga jumlah permukaan karbon aktif bertambah besar (Diao et al., 2002). Proses aktivasi dibedakan menjadi dua bagian, yaitu :

#### a. Proses Aktivasi Termal atau Fisika

Aktivasi termal adalah proses aktivasi yang melibatkan adanya gas pengoksidasi seperti udara pada temperatur rendah, uap,  $\text{CO}_2$ , atau aliran gas pada temperatur tinggi. Proses aktivasi fisika melibatkan gas pengoksidasi seperti pembakaran menggunakan suhu yang rendah dan uap



CO<sub>2</sub> atau pengaliran gas pada suhu yang tinggi. Tetapi pada suhu aktivasi yang terlalu tinggi beresiko terjadinya oksidasi lebih lanjut pada karbon sehingga merusak ikatan C-C dalam bidang lempeng heksagonal karbon yang akan menurunkan luas permukaan internal (Diao et al., 2002).

Kebanyakan arang diaktifkan dengan cara fisika. Perbedaan bahan baku akan menyebabkan variasi suhu pada metode termo. Pengarangan biasanya pada suhu 500-900°C dan sebagai bahan pengaktifan dilakukan dengan steam (uap) atau gas CO<sub>2</sub> pada suhu 800-900 °C. Dalam proses yang menggunakan steam ini aktivasi berlangsung secara berkesinambungan karena reaksi karbon menjadi CO<sub>2</sub> adalah eksotermis (Kirk dan Othmer, 1978).

b. Proses Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia dilakukan dengan mencampur material karbon dengan bahan-bahan kimia atau aktivator, selanjutnya campuran dikeringkan dan dipanaskan. Aktivator adalah zat atau senyawa kimia yang berfungsi sebagai reagen pengaktif dan zat ini akan mengaktifkan atom-atom karbon sehingga daya serapnya menjadi lebih baik. Zat aktivator bersifat mengikat air yang menyebabkan air yang terikat kuat pada pori-pori karbon yang tidak hilang pada saat karbonisasi menjadi lepas. Selanjutnya zat aktivator tersebut akan memasuki pori dan membuka permukaan arang yang tertutup. Dengan demikian pada saat dilakukan pemanasan, senyawa pengotor yang berada dalam pori menjadi lebih mudah terserap sehingga luas permukaan karbon aktif semakin besar dan meningkatkan daya serapnya. Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai pengaktif diantaranya CaCl<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaCl, MgCl<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, dan sebagainya. Semua bahan aktif ini umumnya bersifat sebagai pengikat air (Dabrowski et al., 2005; Li et al., 2008)

Salah satu faktor penting dalam aktivasi kimia adalah tingkat impregnasi. Ini adalah tingkat perbandingan berat antara garam pengaktif *anhydrous* dengan bahan kering mula-mula. Pengaruh tingkat perendaman pada porositas produk yang dihasilkan terlihat dari kenyataan bahwa

volume garam dalam karbon sama dengan volume pori-pori yang di bebaskan oleh ekstraksinya. Jika tingkat impregnasi ditambah lebih jauh, jumlah diameter pori yang lebih besar bertambah dan diameter yang lebih kecil berkurang. Ketergantungan struktur karbon aktif pada jumlah bahan pengaktif yang ditambahkan dapat dilihat dari perubahan bentuk adsorpsi isoterm terhadap bahan-bahan gas (Molina-Sabio dan Rodriguez-Reinoso, 2004).

Pada penelitian ini akan dilakukan aktivasi dengan menggunakan KOH dengan tanpa kehadiran gas oksigen akan mengontrol reaksi pembakaran karbon melalui mekanisme sebagai berikut (Mulyati, 2006):



Pada proses tersebut, karbon bereaksi dengan *oxidizing agent* dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru seperti pada gambar 2.5 berikut.



**Gambar 2.6** Struktur Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Aktivasi

(Sontheimer, 1985)

## 2.4 Bambu Sebagai Bahan Dasar Karbon Aktif

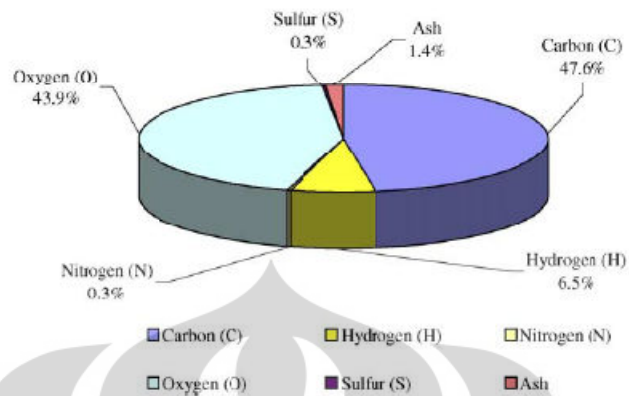
Dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, bambu memegang peranan sangat penting. Bambu seperti pada gambar 2.6 dikenal oleh masyarakat memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Selain itu bambu juga relatif murah karena banyak ditemukan di sekitar pemukiman pedesaan. Bambu menjadi tanaman serbaguna bagi masyarakat pedesaan (Benefield et al., 1982).

Dari kurang lebih 1000 spesies bambu dalam 80 genera, sekitar 200 spesies dari 20 genera ditemukan di Asia Tenggara (Dransfield, 1995), sedangkan di Indonesia ditemukan sekitar 60 jenis. Tanaman bambu Indonesia ditemukan di dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian sekitar 300 m dpl. Pada umumnya ditemukan ditempat-tempat terbuka dan daerahnya bebas dari genangan air.



**Gambar 2.7** Bambu Betung (Anonim, 2011)

Beberapa sifat kimia bambu meliputi kadar selulosa, lignin, pentosan, abu, silika. Kadar selulosa berkisar antara 42,4%-53,6%, kadar lignin bambu berkisar antara 19,8%-26,6%, sedangkan kadar pentosan 1,24%-3,77%, kadar abu 1,24%-3,77%, kadar silika 0,10%-1,78% (Krisdianto et al., 2000). Dari sifat lignoselulosa yang banyak mengandung karbon tersebut terlihat bahwa bambu memiliki kriteria sebagai bahan dasar dari karbon aktif. Selain itu dapat dilihat pada gambar 2.7 elemen yang terdapat pada bambu.



**Gambar 2.8** Elemen-elemen yang terdapat dalam bambu (Choy et al., 2005)

Pada penelitian ini akan digunakan bambu sebagai bahan pembuatan karbon aktif. Metode yang digunakan adalah proses aktivasi terkontrol dengan mengalirkan gas  $N_2$  agar tidak terdapat oksigen yang dapat menyebabkan pembakaran karbon serta ditambahkan *activating agent*.

Penelitian sebelumnya mengenai pembuatan karbon aktif dari bambu dengan *activating agent*  $H_3PO_4$  dialiri steam atau  $CO_2$  menghasilkan luas permukaan rata-rata adalah  $1250 \text{ m}^2/\text{g}$  (Baksi, 2003). Ditemukan pula pembuatan karbon aktif dari bambu dengan menggunakan  $H_3PO_4$  pada suhu  $600^\circ\text{C}$  dengan waktu aktivasi empat jam dan laju pemanasan  $10^\circ\text{C}/\text{menit}$  yang dapat menghasilkan luas permukaan cukup besar yakni  $2123 \text{ m}^2/\text{g}$  (Ip et al., 2008). Sementara itu Pujiyanto telah melakukan penelitian dengan menggunakan *activating agent* KOH dengan bahan baku batubara yang menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan  $1882 \text{ m}^2/\text{g}$ . Untuk bahan baku batubara pada variasi suhu  $700\text{-}900^\circ\text{C}$ , semakin tinggi suhu maka semakin tinggi luas permukaan. Sedangkan untuk bahan baku material lignoselulosa, semakin tinggi suhu maka semakin rendah luas permukaan yang didapat. Suhu maksimum untuk mendapatkan luas permukaan yang besar berada pada suhu  $700^\circ\text{C}$  (Pujiyanto, 2010). Penelitian yang berhubungan dengan pembuatan karbon aktif dengan aktivasi fisika dan aktivasi kimiawi sudah banyak dilakukan, beberapa dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu Pembuatan Karbon Aktif

No	Judul Penelitian	Proses	Hasil
1	<i>High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coal with Potassium Hydroxide Activation</i> (Teng, 1999)	Pembuatan karbon aktif dari batu bara dengan metode aktivasi kimia menggunakan KOH dengan dialiri gas N <sub>2</sub> selama 0-3 jam pada rentang suhu 500-1000 °C	Hasil terbaik didapatkan pada perbandingan KOH/coal = 4.25:1 suhu 800°C selama 1 jam dengan surface area 3000 m <sup>2</sup> /g
2	<i>Influence of Different Chemical Reagents on the Preparation of Activated Carbon from Bituminous Coal</i> (Teng, 1999)	Pembuatan karbon aktif dari batu dengan metode aktivasi kimiawi dengan variasi <i>activating agent</i> ZnCl <sub>2</sub> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , dan KOH, suhu 400-900°C, selama 1 jam dengan atmosfer N <sub>2</sub> .	Hasil terbaik didapatkan pada aktivasi KOH, suhu aktivasi 800°C dengan luas permukaan 3300 m <sup>2</sup> /g
3	<i>Production and Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in a Pilot Reactor</i> (Garcia, 2002)	Pembuatan karbon aktif dari limbah pinus dengan aktivasi KOH, dialiri gas N <sub>2</sub> 4 l/min, dengan variasi suhu 725-800°C selama 1 jam	Didapatkan karbon aktif dengan luas permukaan 1908 m <sup>2</sup> /g Volume mikropori = 0.678 cm <sup>3</sup> /g
4	<i>Understanding Chemical Reaction between Carbon and NaOH and KOH</i> (Lillo, 2003)	Pencampuran bahan baku dengan NaOH (NaOH/C=3:1), diaktivasi dengan suhu 760°C, dengan variasi gas atmosfer N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> dan Steam beserta variasi laju alir 40, 100 dan 500 ml/min	Hasil terbaik dengan atmosfer N <sub>2</sub> 500 ml/min, <i>surface area</i> 2193 m <sup>2</sup> /g Hasil terendah dengan CO <sub>2</sub> , <i>surface area</i> 36 m <sup>2</sup> /g
5	<i>Activated Carbon from Bamboo - Technology Development towards Commercialisation</i> (Baksi, 2006)	Dicampur asam fosfat (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ), Zinc Klorid (ZnCl <sub>2</sub> ) di <i>fluidised bed reactor</i> pada 900-1100°C dengan adanya steam atau CO <sub>2</sub> .	Didapatkan karbon aktif dengan <i>surface area</i> rata-rata adalah 1250 m <sup>2</sup> /g

6	<i>Production and Comparison of High Surface Area Bamboo Derived Active Carbons</i> (Ip, 2008)	Pembuatan karbon aktif dari bambu menggunakan aktivasi kimia menggunakan $H_3PO_4$ dengan rentang suhu 600-900 °C serta dialirkan gas $N_2$	Hasil terbaik didapatkan pada perbandingan 2:1, waktu aktivasi 4 jam, suhu 600 °C dengan luas permukaan 2123 $m^2/g$
7	<i>Effects of <math>H_3PO_4</math> and KOH in Carbonization of Lignocellulosic Material</i> (Jibril, 2008)	Pembuatan karbon aktif dari <i>date palm stem</i> menggunakan $H_3PO_4$ dan KOH pada rentang suhu 400-600 °C selama 2 jam dengan dialirkan gas $N_2$ 250 ml/menit	Hasil terbaik didapatkan untuk $H_3PO_4$ pada suhu 500 °C dengan <i>surface area</i> 1100 $m^2/g$ dan untuk KOH pada suhu 600 °C dengan <i>surface area</i> 947 $m^2/g$
8	<i>Adsorption Capacities of Activated Carbons Prepared from Bamboo by KOH Activation</i> (Nuithitikul, 2011)	Pembuatan karbon aktif dari bambu menggunakan KOH dengan ratio 2:1 pada suhu 800 °C dengan variasi waktu 1-3 jam serta dialiri gas $N_2$	Hasil terbaik didapatkan pada waktu aktivasi selama 3 jam dengan <i>surface area</i> 1532.8 $m^2/g$

Dengan penelitian menggunakan bambu betung yang kadar karbonnya tinggi yakni sekitar 47,6% dan metode aktivasi terkontrol dengan menggunakan *activating agent*  $H_3PO_4$  dan KOH diharapkan dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan juga memiliki daya adsorpsi yang besar.

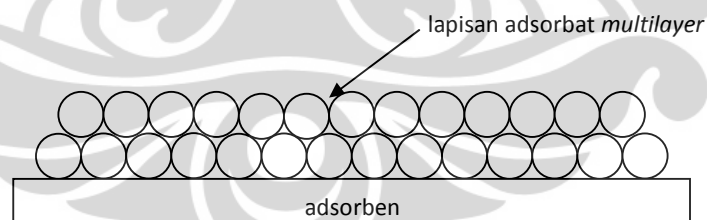
## 2.5 Metode Analisis Luas Permukaan

### 2.5.1 Metode Analisis BET (Braun Emmet Teller)

Luas permukaan karbon aktif dapat diukur dengan metode adsorpsi isoteremis seperti Langmuir, BET, Freundlich ataupun dengan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui perubahan struktur permukaan karbon aktif. Pada penelitian ini akan diukur luas permukaan karbon aktif dengan menggunakan aplikasi model BET terhadap adsorpsi fisik dengan menggunakan nitrogen sebagai adsorbat. Penentuan luas permukaan dilakukan dengan alat pengukur dengan prinsip BET. Dengan alat tersebut, maka luas permukaan dari karbon aktif dapat langsung diketahui.

Metode BET dikembangkan oleh Brunauer–Emmet-Teller pada tahun 1938 yang merupakan tambahan dari persamaan Langmuir untuk kasus adsorpsi *multilayer*. Adsorpsi isoteremis yang menggunakan prinsip BET merupakan adsorpsi fisis. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, isoterm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer* seperti ilustrasi pada gambar 2.8. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai

- a. Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan *monolayer*
- b. Penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*



Gambar 2.9 Pendekatan Isoterm Adsorpsi BET (Maron dan Lando, 1974)

Persamaan yang dipostulatkan oleh Brunauer, Emmet, Teller (Maron dan Lando, 1974):

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P}{V_m C P_0} \quad (2.4)$$

dengan:

$P$  = tekanan gas saat teradsorpsi

$P_o$  = tekanan saturasi gas yang diadsorpsi pada suhu percobaan

$V$  = volume gas yang diadsorpsi pada tekanan  $P$

$V_m$  = volume gas yang diadsorpsi dalam lapisan tunggal

$C$  = konstanta yang dihubungkan secara eksponensial dengan panas adsorpsi dan pencairan gas. Konstanta ini dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$c = e^{(E_1 - E_L)/RT} \quad (2.5)$$

dengan:

$E_1$  = Panas adsorpsi layer 1

$E_L$  = Panas Pencairan gas pada layer lain

Persamaan (2.4) dapat dibuat grafik linear dengan memplotkan  $P/V(P_o - P)$  pada sumbu y dan  $P/P_o$  pada sumbu x. Maka, setelah dilinearisasi didapat  $slope = (C-1)/V_m C$  dan  $intercept = 1/V_m C$ . Dari hubungan di atas, dapat dihitung harga  $V_m$  dan dengan diketahuinya  $V_m$  maka luas permukaan karbon aktif dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$A = V_m \cdot N_{AV} \cdot \frac{\pi}{4} \sigma^2 \quad (2.6)$$

dengan:

$A$  = luas permukaan

$N_{AV}$  = Bilangan Avogadro

$\sigma$  = diameter adsorbat

### 2.5.2 Metode Bilangan Iodin

Adsorpsi iodin telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Angka iodin didefinisikan sebagai jumlah miligram iodin yang diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. Daya serap/adsorpsi karbon aktif terhadap iodin mengindikasikan kemampuan karbon karbon aktif untuk mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah.



Iodin merupakan senyawa yang sedikit larut dalam air dengan kelarutan molar dalam air 0,00134 mol/liter pada suhu 25°C dan merupakan senyawa nonpolar. Iodin ( $I_2$ ) tersusun atas dua atom yang sama, salah satu atom yang lebih elektropositif membentuk muatan parsial positif, dan salah satu atomnya yang lebih elektronegatif membentuk parsial negatif.  $I_2$  tersusun atas dua atom yang sama dengan keelektronegatifan yang sama sehingga arah momen ikatannya saling meniadakan dan momen dipolnya nol. Hal ini dapat dikaitkan dengan karakterisasi karbon aktif dengan mengukur kemampuan adsorpsi terhadap larutan iodin sama dengan mengukur adsorptivitas karbon aktif terhadap senyawa nonpolar.

Iodin merupakan senyawa yang memiliki tekanan uap tinggi sehingga dalam suhu ruang iodin mudah menguap. Dalam proses adsorpsi, ion diadsorpsi dan dijerap oleh adsorben berupa karbon aktif yang berupa fase padatan. Proses adsorpsi pada adsorbat terjadi karena gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben yang melibatkan gaya Van der Waals dan ikatan hidrogen (Atkins, 1999).

Mekanisme proses adsorpsi dimulai ketika molekul adsorbat larutan iodin berdifusi melalui suatu lapisan batas ke permukaan luar adsorben dan peristiwa ini disebut sebagai difusi eksternal. Selanjutnya, adsorbat berada di permukaan adsorben dan sebagian besar berdifusi lanjut di dalam pori-pori karbon aktif yang disebut difusi internal. Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar akan teradsorpsi dan terikat pada bagian permukaan.

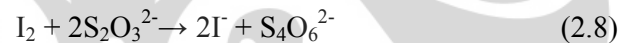
Jika dimisalkan konsentrasi filtrat adalah 0,02 N, pada metode ini diasumsikan bahwa iodin berada dalam kesetimbangan pada konsentrasi 0,02 N yaitu dengan terbentuknya lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan karbon aktif dan inilah yang menjadi alasan mengapa terdapat hubungan antara bilangan iodin dengan luas permukaan spesifik karbon aktif (Jankowska et al., 1991). Karbon aktif dengan kemampuan menyerap iodin yang tinggi berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan juga memiliki struktur mikro dan mesoporous yang lebih besar. Berdasarkan Standar Industri Indonesia karbon aktif yang baik mampu menyerap iodin minimal 20%.

Penentuan angka iodin pada karbon aktif menggunakan reaksi redoks dalam penentuannya. Reaksi redoks yaitu istilah oksidasi mengacu pada setiap perubahan kimia dimana terjadi kenaikan bilangan oksidasi yang disertai kehilangan elektron, sedangkan reduksi digunakan untuk setiap penurunan bilangan oksidasi yang disertai dengan memperoleh elektron. Oksidator adalah senyawa dimana atom yang terkandung mengalami penurunan bilangan oksidasi dan sebaliknya reduktor adalah atom yang terkandung mengalami kenaikan bilangan oksidasi.

Pada proses pelarutannya, iodin yang sedikit larut dalam air ditambahkan Kalium Iodida (KI) untuk mempercepat pelarutan iodin karena terbentuknya ion triiodida menurut reaksi:



Selanjutnya, pada proses titrasi Iodin dengan Natrium Tiosulfat akan terjadi reaksi seperti berikut:



Perhitungan untuk mendapatkan bilangan iodin dapat dilakukan dengan persamaan (2.9) berikut:

$$Iod\ yang\ diadsorpsi, \frac{mg}{g} = \frac{10 \cdot \frac{V \cdot N}{0,1}}{W} \times 12,69 \times 5 \quad (2.9)$$

Dimana:

$V$  = Larutan Natrium Tio-Sulfat yang diperlukan (ml)

$N$  = Normalitas larutan Natrium Tio-Sulfat

12,69 = Jumlah Iod sesuai dengan 1 ml larutan Natrium Tio-Sulfat 0,1 N

$W$  = Sampel (gram)

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Energi Berkelanjutan, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Untuk membuat karbon aktif, ada beberapa tahap yang harus dilakukan, tahap-tahap yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir penelitian keseluruhan pada Gambar 3.1.

#### 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

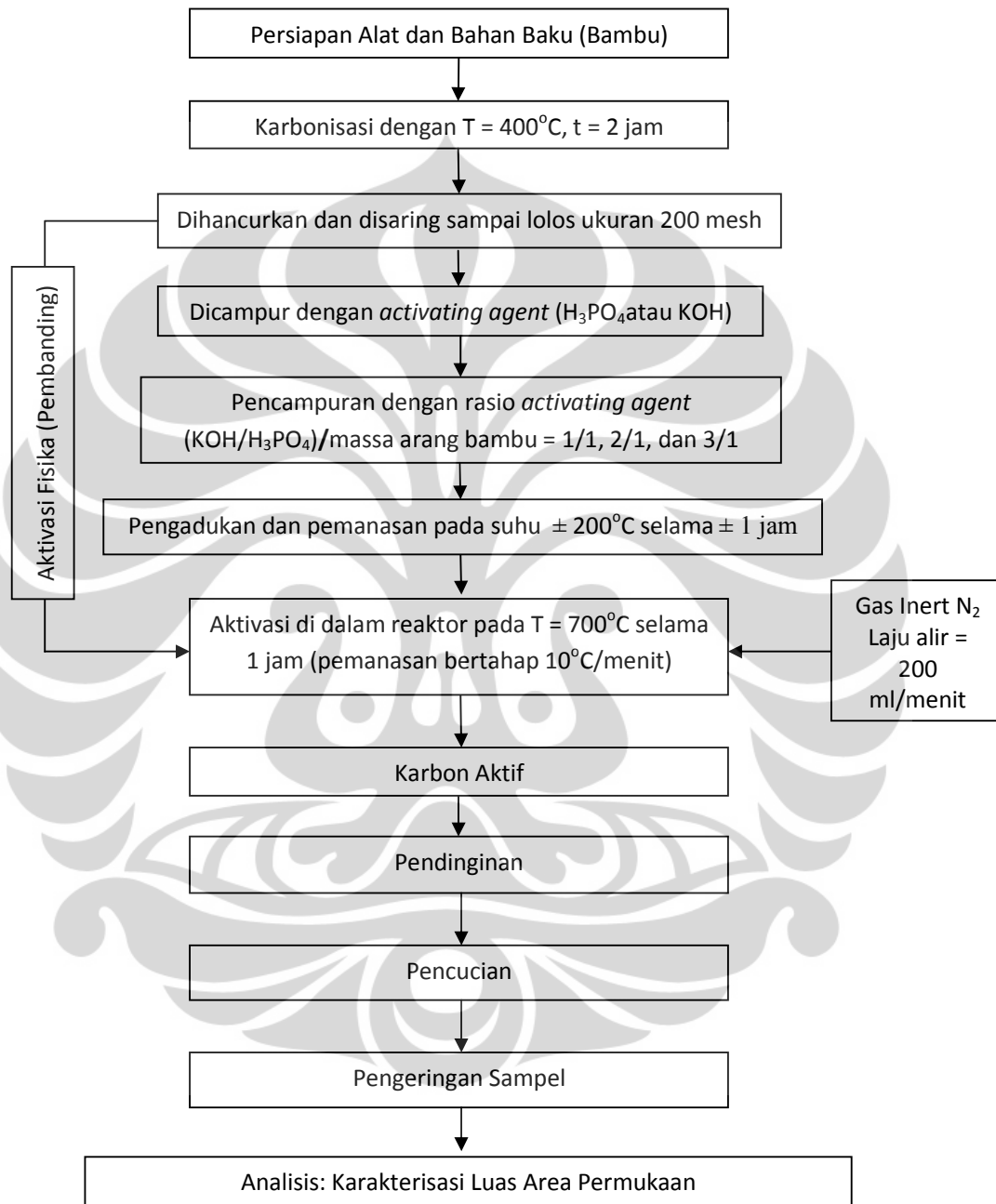
##### 3.1.1 Alat :

- Timbangan analitik
- *Beaker glass*
- Cawan petri
- Spatula dan pengaduk kaca
- Kompor
- Penggorengan
- Termokopel
- Penyaring ukuran 200 mesh
- *Hot Plate* dan *Magnetic Stirrer*
- Reaktor dan tabung gas N<sub>2</sub> (dapat dilihat pada Gambar 3.2)
- Kertas saring
- Oven
- Peralatan penguji luas permukaan (Autosorb 6B Quantachrome)
- Pipet 10 ml, 50 ml
- Buret
- Labu Erlenmeyer
- *Aluminium Foil*
- Sentrifugal separator
- Tabung sentrifugal
- Labu ukur 1000 ml

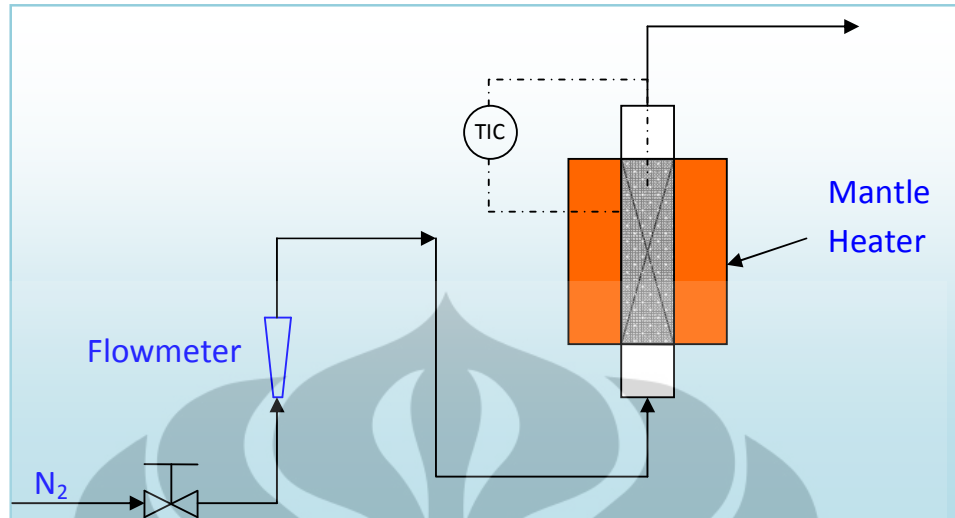
### 3.1.2 Bahan :

- Bambu  
Bambu yang digunakan harus yang sudah tua dan keras. Kemudian dibentuk menjadi serbuk dengan ukuran 200 mesh. Selain itu, bambu perlu dipanaskan agar menghilangkan kadar airnya.
- Larutan  $H_3PO_4$  dan KOH  
Larutan ini digunakan sebagai *activating agent*.
- HCl 5 N  
Digunakan untuk mencuci karbon dengan *activating agent* KOH setelah keluar dari reaktor.
- Air distilasi  
Digunakan untuk mencuci karbon setelah pencucian menggunakan HCl.
- Gas Nitrogen  
Digunakan sebagai gas inert saat proses aktivasi agar tidak terdapat oksigen yang dapat bereaksi dengan karbon.
- Larutan Iodin  
Digunakan sebagai adsorbat pada proses penentuan bilangan iodin karbon aktif.
- Larutan Natrium Tiosulfat ( $Na_2S_2O_3$  0.1 N)  
Digunakan sebagai untuk titrasi larutan iodin.
- Larutan Amilum 1%  
Digunakan sebagai indikator pada saat titrasi larutan iodin oleh larutan Natrium Tiosulfat.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Reaktor Aktivasi

### 3.3 Variabel Penelitian

Berikut merupakan variabel yang terkait dalam penelitian ini:

- Variabel bebas  
Karbon aktif dengan aktivasi fisika (tanpa *activating agent*) sebagai pembanding, jenis *activating agent*, dan rasio massa *activating agent*/massa arang bambu
- Variabel kontrol  
Suhu dan waktu dalam proses karbonisasi dan aktivasi
- Variabel terikat  
Luas permukaan karbon aktif

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu persiapan alat dan bahan, proses pengarangan, karbonisasi dan aktivasi, pendinginan, pencucian, pengeringan sampel serta analisis hasil karbon aktif.

#### 3.4.1 Karbonisasi dan Aktivasi

Pada tahap karbonisasi, maka bambu harus digerus dan dibuat sampai berupa potongan dan serutan kecil yang kemudian di *furnace* pada suhu 400°C

selama dua jam. Hal ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan sehingga semakin banyak pori-pori yang teraktivasi. Setelah proses karbonisasi maka hasil arang bambu tersebut dilanjutkan dengan proses aktivasi. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *activating agent*, maka proses ini dibagi menjadi dua, yakni aktivasi kimia (dengan *activating agent*) serta aktivasi fisika (tanpa *activating agent*).

Pada penelitian ini, digunakan proses aktivasi kimia karena bambu mengandung selulosa. Proses aktivasi pada penelitian ini menggunakan dua jenis *activating agent* yakni  $H_3PO_4$  dan KOH dengan variasi berat rasio massa *activating agent*/massa arang adalah 1/1, 2/1, 3/1 untuk setiap *activating agent*. *Activating agent* KOH berwujud padatan sehingga massa *activating agent* yang telah ditimbang sebelum dicampur dengan arang perlu dilarutkan dalam air distilasi terlebih dahulu sampai didapat larutan sebanyak 150 ml, untuk  $H_3PO_4$  juga dilakukan pencampuran dengan air sebanyak 150 ml kemudian dicampurkan dengan arang. Setelah itu dilakukan pengadukan pada suhu  $\pm 200^\circ C$  selama  $\pm 1$  jam. Pengadukan ini bertujuan untuk impregnasi bahan baku dengan *activating agent*. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air sehingga didapatkan padatan *activating agent*/bahan baku. Campuran arang dan *activating agent* yang berbentuk *slurry* ini kemudian dimasukan ke dalam reaktor. Sebelum digunakan, reaktor harus dipastikan bahwa tidak ada oksigen di dalamnya. Selanjutnya dipanaskan pada suhu  $700^\circ C$  selama 1 jam sehingga tercapai temperatur proses kenaikan suhu  $10^\circ C/$  menit dan pada reaktor tersebut dialirkan gas  $N_2$  dengan laju alirnya dikontrol sebesar 200 ml/menit.

Setelah prosedur ini selesai dilakukan, maka akan didapatkan produk karbon aktif. Namun, karbon aktif yang didapat masih membutuhkan perlakuan lebih lanjut agar mendapat hasil yang benar-benar murni.

### 3.4.2 Pendinginan

Setelah proses aktivasi dengan furnace, maka akan didapat sampel karbon aktif yang harus didinginkan sampai temperatur *furnace* di bawah  $100^\circ C$  dengan tetap mengalirkan  $N_2$ . Sampel tersebut masih terdapat di dalam reaktor dengan *furnace* dalam keadaan mati.

### 3.4.3 Pencucian

Setelah didinginkan, sampel tersebut dicuci dengan 250 ml larutan HCl 5 N dan terakhir sampel dicuci beberapa kali dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa-sisa kloridanya.

### 3.4.4 Pengeringan

Setelah dicuci, sampel dikeringkan pada suhu 110°C selama 24 jam. Sampel karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga karbon aktif tetap kering.

### 3.4.5 Teknik Pengambilan Data, Pengolahan Data, dan Analisis

#### 3.4.5.1 Metode Analisis BET

Pada penelitian ini dilakukan analisis luas permukaan terhadap karbon aktif yang dihasilkan sehingga data yang diambil merupakan luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan. Produk karbon aktif yang dihasilkan dianalisis luas permukaannya dengan menggunakan Autosorb 6B produksi Quantachrome yang terdapat di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan alat ini, luas permukaan karbon aktif dapat langsung diketahui. Sebelum dimasukkan ke dalam Autosorb 6B, sampel karbon aktif harus ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massanya sehingga nantinya dapat diketahui luas permukaannya setiap 1 gram karbon aktif. Setelah semua data luas permukaan karbon aktif dari semua variasi *activating agent* didapatkan, maka selanjutnya dibuat grafik hubungan antara *activating agent* (jenis dan rasio) dengan luas permukaan karbon aktif dan luas permukaan karbon aktif tanpa *activating agent* digunakan sebagai pembanding. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jenis *activating agent* dan rasionya yang optimal untuk pembuatan karbon aktif dari bambu.

#### 3.4.5.2 Metode Analisis Bilangan Iodin

Pada penelitian ini juga dilakukan uji analisis bilangan iodin untuk mengetahui kandungan iodin yang diserap oleh karbon aktif. Tahap-tahap percobaan analisis ini adalah sebagai berikut:



- **Tahap Pembuatan Larutan Iod 0,1 N**
  1. Melarutkan 25 gram KI dengan 30 ml air ke dalam labu ukur 1000 ml
  2. Menambahkan 13 gram  $I_2$  ke dalam larutan tadi dan mengocok sampai larut.
  3. Menjadikan 1000 ml volumenya dengan air.
  4. Menyimpan larutan tersebut di tempat sejuk dan gelap.
- **Tahap Pembuatan Larutan Natrium Tio Sulfat 0,1 N ( $Na_2S_2O_3$ )**
  1. Melarutkan 26 gram Natrium Tio-Sulfat dengan 0,2 gram  $Na_2CO_3$  dengan 1 liter air.
  2. Menambahkan 10 ml isoamil alkohol dan mengocok larutan dengan baik.
  3. Menutup botol dan membiarkan selama 2 hari.
- **Tahap Pembuatan Larutan Kanji 1%**
  1. Menambahkan 10 ml air kedalam 1 gram kanji dan mengaduk hingga tercampur dengan baik.
  2. Menambahkan 100 ml air panas, mengaduk, dan mendidihkan larutan tersebut.
- **Tahap Analisis**
  1. Mengoven karbon aktif pada temperatur  $115^\circ C$  selama 1 jam.
  2. Mendinginkan karbon dalam desikator.
  3. Menimbang karbon sebanyak 0,5 gram dan memasukkan dalam erlenmeyer berwarna gelap dan tertutup.
  4. Menambahkan 50 mL larutan iodin 0,1 N.
  5. Mengaduk erlenmeyer selama 15 menit pada suhu kamar.
  6. Memindahkan ke dalam tabung sentrifugal.
  7. Memutar tabung sampai sampel turun dan cairannya menjadi bening dan memipet 10 ml cairan bening tersebut.
  8. Menitrasi dengan larutan natrium tio-sulfat 0,1 N jika warna kuning dari larutan samar kemudian menambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator.
  9. Menitrasi kembali dengan teratur sampai mendapatkan titik akhir bila warna biru larutan telah hilang.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil dari data penelitian sehingga didapatkan suatu kesimpulan dari percobaan yang dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah bambu dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif serta pengaruh dari jenis *activating agent* dan perbandingan massa arang dengan massa *activating agent* terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah karakterisasi BET untuk mengetahui luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan.

#### **4.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu**

Karbon aktif dibuat dari bahan dasar karbon sehingga dalam pembuatan karbon aktif dari bahan baku bambu ini terlebih dahulu dilakukan persiapan bahan dasar karbon dari bambu. Proses ini disebut proses karbonisasi. Jenis bambu yang digunakan sebagai bahan baku ini merupakan bambu betung yang didapat dari daerah Semarang. Bambu yang digunakan sudah kering sehingga tidak perlu proses pengeringan terlebih dahulu. Setelah dilakukan proses karbonisasi dari bambu, maka didapat arang bambu yang akan digunakan untuk pembuatan karbon aktif setelah melalui proses aktivasi.

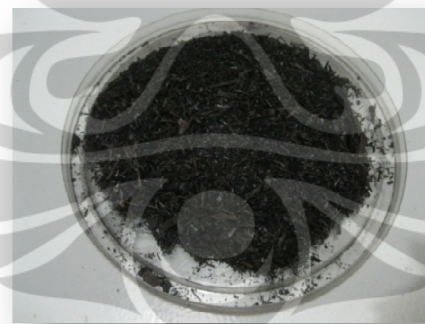
##### **4.1.1 Hasil Proses Karbonisasi**

Tahap pertama pada pembuatan karbon aktif dari bambu ini dimulai dengan proses karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan untuk mendapatkan arang dari bambu yang digunakan sebagai bahan baku. Sebelum dilakukan karbonisasi, bambu terlebih dahulu dicacah dan dibentuk serutan agar proses terjadi secara merata. Jika bambu sudah dicacah dan diserut terlebih dahulu, maka luas permukaan bambu yang terkena panas akan semakin besar sehingga proses karbonisasi akan lebih merata. Bambu yang telah dicacah dan diserut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Bambu yang telah Dihaluskan

Tahap karbonisasi bambu ini dilakukan pada rentang suhu 300-350°C. Suhu tersebut digunakan karena pada rentang suhu tersebut dianggap kandungan air serta senyawa lain yang mudah menguap (senyawa *volatile*) sudah dapat dihilangkan sehingga diperoleh kadar karbon yang paling optimum dan terjadi pembentukan dasar porositas pada karbon atau terbukanya pori-pori karbon. Dari hasil yang didapat bambu yang awalnya berwarna coklat muda sudah berubah seluruhnya menjadi hitam. Hal ini dapat menunjukkan bahwa hasil karbonisasi yang didapat ialah arang dari bambu yang digunakan sebagai bahan baku. Hal ini dapat dibuktikan dari hasil karbonisasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Hasil Proses Karbonisasi

Proses karbonisasi ini berlangsung selama sekitar dua jam dan timbul asap yang sangat banyak. Hal ini terjadi dikarenakan banyaknya zat-zat *volatile* yang terkandung dalam bambu dan menguap pada saat karbonisasi. Proses karbonisasi berakhir ketika seluruh potongan bambu sudah berubah menjadi arang berwarna

hitam seluruhnya dan asap yang keluar sudah tidak banyak lagi. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa-senyawa *volatile* telah menguap dan tersisa karbon yang mencapai 70-90%.

Sebelum proses karbonisasi dilakukan, terdapat perhitungan massa dari bambu yang akan dikarbonisasi. Bambu sebelum dan setelah dikarbonisasi ditimbang untuk mendapatkan yield karbon dalam bambu. Hasil yield karbon dalam bambu dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Neraca Massa Karbon dan Arang dari Bambu

<b>Massa Bambu (gram)</b>	<b>Massa Karbon dalam Bambu (gram)</b>	<b>Massa Arang (gram)</b>	<b>Yield Karbon Arang (%)</b>
20,00	9,52	8,00	84,33
20,00	9,52	8,00	84,03
40,00	19,04	16,00	84,03
40,00	19,04	16,00	84,03
40,00	19,04	13,00	68,27
40,00	19,04	12,00	63,02
20,00	9,52	7,00	73,52
40,00	19,04	13,00	68,27
40,00	19,04	14,00	73,52
50,00	23,80	15,00	63,02
50,00	23,80	13,00	54,62
40,00	19,04	15,00	78,78
50,00	23,80	19,00	79,83
50,00	23,80	23,00	96,63
40,00	19,04	12,00	63,02
50,00	23,80	17,00	71,42

Dari proses karbonisasi bambu yang ditunjukkan pada tabel di atas, didapatkan hasil rata-rata karbon pada arang bambu yang terbentuk ialah sebesar 74,38% dari massa total karbon yang terdapat dalam bambu yang digunakan dalam proses karbonisasi. Hasil ini sudah dikatakan cukup baik untuk proses

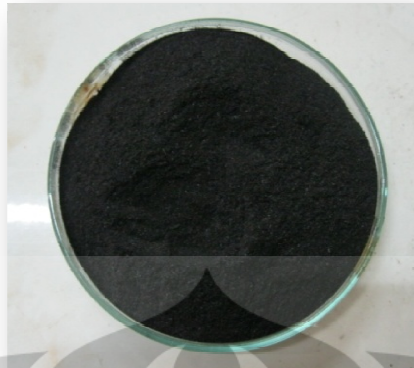
karbonisasi karena dapat dikatakan bahwa hampir seluruh senyawa yang mudah menguap dalam bambu telah hilang.

Setelah proses karbonisasi berakhir, arang bambu yang dihasilkan dihaluskan kembali dengan menggunakan penyaring sampai ukurannya sekitar 200 mesh. Ukuran partikel akan mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses penghalusan dengan tujuan untuk mendapatkan ukuran arang bambu yang seragam seperti pada Gambar 4.3 berikut.



**Gambar 4.3** Penghalusan Bambu Menggunakan Penyaring 200 mesh

Dengan melalui penyaringan terlebih dahulu, maka didapatkan ukuran partikel arang yang seragam dan lebih kecil. Ukuran yang lebih kecil ini akan semakin memperluas area permukaan arang saat proses aktivasi sehingga diharapkan pada saat proses aktivasi semakin banyak pori-pori yang terbentuk. Semakin banyak pori-pori yang terbentuk, maka luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan juga akan semakin besar. Namun, ukuran partikel arang ini juga tidak boleh terlalu kecil karena jika ukurannya terlalu kecil dikhawatirkan arang akan terbakar habis pada saat proses aktivasi nantinya. Gambar 4.4 menunjukkan hasil arang bambu yang telah dihaluskan.



Gambar 4.4 Arang Bambu yang telah Dihaluskan

#### 4.1.2 Hasil Pencampuran dengan *Activating Agent*

Pada penelitian ini dipilih proses aktivasi kimia untuk pembuatan karbon aktif karena proses ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan proses aktivasi fisika, seperti suhu yang digunakan saat proses aktivasi lebih rendah, yield karbon aktif yang dihasilkan lebih tinggi dan pori-pori yang terbentuk lebih banyak dan lebih terkontrol. Pembuatan karbon aktif dari bambu ini dilakukan dengan metode aktivasi kimia sebelum masuk ke tahap aktivasi. Arang bambu yang sudah didapat dari proses karbonisasi dicampur terlebih dahulu dengan *activating agent*. Dengan demikian, proses aktivasi kimia yang digunakan supaya dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi sesuai dengan tujuan penelitian.

Namun, sebagai pembanding, karbon aktif dari bambu dengan aktivasi fisika juga dibuat dengan tujuan sebagai pembanding dengan karbon aktif yang dibuat dengan aktivasi kimia. Berbeda halnya dengan proses aktivasi kimia, arang bambu yang telah didapat dari proses karbonisasi tidak perlu dicampur dengan *activating agent* tetapi langsung diaktivasi dalam reaktor.

Pada penelitian ini ingin diketahui pengaruh dari jenis *activating agent* yang digunakan serta pengaruh dari perbandingan massa antara *activating agent* dan arang bambu. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan dua jenis *activating agent*, yaitu  $H_3PO_4$  dan  $KOH$  dengan massa *activating agent*/massa arang bambu sebesar 1/1, 2/1 dan 3/1. Kedua variabel bebas di atas dipilih karena

keduanya memiliki pengaruh terhadap variabel terikat pada penelitian ini, yaitu luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan.

*Activating agent* yang paling umum digunakan untuk pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia ialah KOH, ZnCl<sub>2</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan dengan aktivasi fisika dan sebagai hasilnya zat ini lebih banyak digunakan dalam aktivasi pada sejumlah besar bahan lignoselulosa, termasuk bambu (Srinivasakannan, 2004).

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, pembuatan karbon aktif dari bambu dengan menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai *activating agent* memberikan hasil luas permukaan karbon aktif yang tinggi dibandingkan dengan ZnCl<sub>2</sub> (Baksi, 2006). Pengaruh kondisi eksperimental pada struktur pori karbon aktif menggunakan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> juga telah diteliti. Zat ini membatasi pembentukan tar dan menghambat kontraksi volume selama aktivasi, dan memfasilitasi pembentukan struktur pori dalam sampel. Oleh karena itu pada penelitian ini *activating agent* ZnCl<sub>2</sub> tidak digunakan dan dipilih penggunaan KOH dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebagai *activating agent*. Dari kedua *activating agent* tersebut ingin diketahui pengaruh jenis *activating agent* terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Banyaknya *activating agent* yang digunakan juga mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan, maka jumlah *activating agent* yang digunakan divariasikan pada penelitian ini dengan menggunakan perbandingan antara massa *activating agent* dengan massa arang bambu.

Untuk *activating agent* KOH yang digunakan berupa padatan dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang digunakan berupa cairan. Untuk mencampurkannya dengan arang bambu, padatan *activating agent* yang telah ditimbang sesuai dengan perbandingan massa *activating agent* dengan massa arang yang digunakan dilarutkan dalam air distilasi terlebih dahulu sampai didapatkan larutan *activating agent* sebanyak 150 ml. Setelah itu, larutan *activating agent* tersebut dicampurkan dengan arang yang telah ditimbang sebelumnya. Kemudian, campuran ini diaduk dan dipanaskan pada suhu 200°C selama 1 jam menggunakan *hot plate magnetic stirrer* sampai campuran tersebut menjadi *slurry* seperti pada Gambar 4.5 berikut.



**Gambar 4.5** Proses Pencampuran Arang Bambu dengan *Activating Agent*

Proses pemanasan dan pengadukan ini dilakukan supaya *activating agent* terimpregnasi pada karbon dan menghilangkan air dari larutan *activating agent* sehingga *activating agent* tersebut dapat bereaksi baik dengan karbon dan memperbesar ukuran pori pada saat proses aktivasi. Massa dari arang bambu dan massa larutan *activating agent* ditimbang sebelum pencampuran dan setelah dilakukan pencampuran (*slurry*) berikut perhitungannya pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Pencampuran Larutan *Activating Agent* dengan Arang Bambu

<i>Activating agent</i>	Perbandingan massa <i>activating agent</i> /arang	Massa <i>activating agent</i> (gram)	Massa arang (gram)	Massa Bahan Baku + Larutan <i>activating agent</i> (gram)	Massa <i>slurry</i> yang terbentuk (gram)	Air yang Menguap (%)
KOH	1:1	20,08	20,02	247,56	102,56	58,57
	2:1	40,02	20,01	207,56	117,56	43,36
	3:1	60,03	20,01	187,56	107,00	42,92
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	20,00	20,01	227,56	67,56	68,95
	2:1	40,00	20,00	217,56	72,56	66,65
	3:1	60,03	20,01	242,56	82,56	65,96

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada saat proses pemanasan campuran menjadi *slurry*, air dalam larutan *activating agent* tidak dapat menguap seluruhnya, maka pada saat dimasukkan ke dalam reaktor, *slurry* masih



mengandung cukup banyak air. Akan tetapi, hal ini tidak menjadi masalah dalam proses aktivasi karena aktivasi menggunakan suhu yang tinggi ( $700^{\circ}\text{C}$ ) dengan kenaikan suhu yang bertahap sehingga pada saat proses kenaikan suhu, air dapat menguap seluruhnya.

#### 4.1.3 Hasil Proses Aktivasi

Setelah proses pencampuran dengan *activating agent* selesai dilakukan, maka proses selanjutnya yang dilakukan ialah proses aktivasi. *Slurry* yang didapatkan dari proses pencampuran dimasukkan ke dalam reaktor untuk diaktivasi. Pada Gambar 4.6 menunjukkan reaktor yang digunakan pada proses aktivasi.



**Gambar 4.6** Reaktor untuk Aktivasi pada Pembuatan Karbon aktif

Proses aktivasi pada karbon aktif dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen. Hal ini dikarenakan kehadiran oksigen dapat membakar dan merusak struktur pori bahan dasar sehingga akan terjadi banyak hilangnya bahan dasar pada hasil akhir karbon aktif. Oleh karena itu, untuk mencegah reaksi pembakaran dengan oksigen, maka dialirkan gas inert selama proses aktivasi, yaitu nitrogen. Dengan demikian, selama proses ini yang mengaktivasi karbon ialah *activating agent* yang telah dicampurkan sebelumnya.

Proses aktivasi dilakukan pada suhu 700°C selama 1 jam. Kondisi operasi ini dilakukan pada semua sampel, baik dengan *activating agent* KOH maupun dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Pemilihan suhu yang digunakan untuk proses aktivasi merupakan hal yang paling penting pada proses aktivasi ini. Jumlah dan struktur pori-pori yang terbentuk bergantung pada suhu yang digunakan. Hal ini dikarenakan suhu aktivasi mempengaruhi kerja dari *activating agent* yang digunakan. *Activating agent* memiliki rentang suhu tertentu dimana *activating agent* dapat bereaksi dengan karbon sehingga membentuk pori-pori. Jika suhu yang digunakan untuk proses aktivasi tidak berada di rentang suhu tersebut, maka dapat dipastikan bahwa *activating agent* tidak dapat bereaksi dengan optimum dengan karbon saat proses aktivasi. Menurut penelitian pembuatan karbon aktif dari batubara dengan *activating agent* KOH, suhu optimum proses aktivasi dengan KOH sebagai *activating agent* didapat pada suhu di atas 700°C (Hsu dan Teng, 2000). Sementara itu, menurut penelitian mengenai pembuatan karbon aktif dari bambu dengan *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, suhu aktivasi optimum dengan *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berada pada rentang 600 dan 900°C (Ip et al., 2008). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan suhu aktivasi 700°C dengan tujuan aktivasi dengan kedua *activating agent* dapat berjalan optimum.

Sama halnya dengan pemilihan suhu yang digunakan, waktu aktivasi juga mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan nantinya. Waktu aktivasi tidak boleh terlalu singkat dan tidak boleh terlalu lama. Jika digunakan waktu aktivasi yang terlalu singkat, maka besar kemungkinan aktivasi karbon belum mencapai kondisi optimum. Sementara itu, jika waktu aktivasi terlalu lama dapat terjadi kehilangan bahan baku seluruhnya atau karbon habis bereaksi. Oleh karena itu, waktu aktivasi yang pada umumnya digunakan ialah minimal 30 menit dan maksimal 2 jam. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif ini ialah bambu. Bambu yang sudah dicacah dan diserut memiliki serat-serat yang halus sehingga juga dihasilkan karbon yang halus. Dengan demikian, untuk menghindari habisnya karbon saat proses aktivasi, maka pada penelitian ini digunakan waktu aktivasi selama 1 jam. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengamatan selama proses aktivasi untuk semua sampel pada penelitian ini.

Tabel 4.3 Tabel Hasil Pengamatan selama Proses Aktivasi

Suhu( °C )	Waktu (menit)	Keterangan
30	5	Mengalirkan gas N <sub>2</sub> dalam reaktor
30 – 200	10	Uap air mulai keluar dari reaktor ditandai dengan keluarnya asap putih
200 – 400	20	Bertambahnya asap putih yang keluar
400 – 600	20	Asap putih semakin banyak keluar
600 – 700	10	Asap putih sudah tidak keluar lagi
700	60	Proses aktivasi dimulai
700 – 200	30	Melakukan penurunan suhu sebelum mematikan dan membuka reaktor (mengeluarkan sampel) dengan tetap mengalirkan gas N <sub>2</sub>
200 – 30	30	Mematikan reaktor dan setelah reaktor tidak terlalu panas mengeluarkan sampel dari reaktor

Dari hasil pengamatan pada proses aktivasi, penggunaan *activating agent* maupun penggunaan rasio antara massa *activating agent* dan massa arang yang berbeda tidak menunjukkan perilaku yang jauh berbeda. Berbeda halnya dengan aktivasi fisika, pada proses aktivasi fisika tidak timbul banyak asap putih. Hal ini dikarenakan pada proses aktivasi ini hanya dimasukan arang bambu tanpa *activating agent*. Namun, massa yang keluar dari reaktor berkurang dari massa awal arang yang dimasukan. Hal ini terjadi karena saat proses aktivasi terjadi pengikisan karbon untuk proses pembentukan pori-pori yang baru. Massa campuran dari *activating agent* dan arang bambu (*slurry*) yang dimasukan ke dalam reaktor tentunya berbeda dengan massa yang keluar dari reaktor setelah dilakukan aktivasi. Hal ini dikarenakan saat proses aktivasi terjadi penguapan air yang digunakan sebagai pelarut *activating agent* dan proses pengikisan karbon

supaya terbentuk pori-pori yang baru. Dari Tabel 4.4 dapat dilihat perubahan massa sebelum aktivasi dan setelah aktivasi.

Tabel 4.4 Hasil Proses Aktivasi

Jenis Aktivasi	Activating agent	Perbandingan massa activating agent/arang	Massa yang masuk reaktor (gram)	Massa yang keluar reaktor (gram)	Massa yang berkurang (%)
Kimia	KOH	1:1	102,56	29,66	71,08
		2:1	117,56	40,30	65,71
		3:1	107,06	47,70	55,44
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	67,56	20,98	68,94
		2:1	72,56	32,04	55,84
		3:1	82,56	41,20	50,09
Fisika			20,01	12,16	39,23

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa massa yang berkurang selama proses aktivasi ini cukup banyak. Besarnya presentase massa yang berkurang ini menunjukkan massa air yang menguap yang berasal dari air yang digunakan sebagai pelarut *activating agent* dan menguapnya senyawa-senyawa *volatile* yang kemungkinan masih ada dalam bahan baku. Untuk kedua jenis *activating agent*, persentase massa yang berkurang semakin kecil untuk perbandingan massa *activating agent* dan massa arang yang semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar perbandingan *activating agent* dan massa arang, maka jumlah air yang digunakan semakin sedikit. Oleh karena itu, semakin besar perbandingannya, maka semakin sedikit pula persentase massa yang hilangnya.

Sementara itu, jika massa yang keluar reaktor dibandingkan dengan massa arang bambu yang digunakan sebelum dicampur dengan *activating agent* juga berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perbandingan antara Massa Arang Bambu dan Massa yang keluar Reaktor

<i>Activating agent</i>	Perbandingan massa <i>activating agent</i> /arang	Massa arang bambu (gram)	Massa yang keluar reaktor (gram)	Jumlah massa yang hilang karena reaksi (gram)
KOH	1:1	20,02	29,66	10,44
	2:1	20,02	40,30	19,72
	3:1	20,01	47,70	32,34
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1:1	20,01	20,98	19,03
	2:1	20,02	32,04	27,96
	3:1	20,02	41,20	38,84

Dari tabel di atas terlihat bahwa massa setelah proses aktivasi atau massa setelah keluar dari reaktor lebih besar dibandingkan dengan massa arang bambu yang digunakan. Penambahan massa ini disebabkan karena masih adanya *activating agent* yang tersisa. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan jumlah massa arang bambu yang digunakan ditambah dengan massa *activating agent*, maka massa setelah keluar dari reaktor lebih sedikit. Dalam proses aktivasi terjadi reaksi antara *activating agent* dengan arang sehingga setelah keluar dari reaktor, ada massa yang hilang. Hal inilah yang menyebabkan massa yang keluar dari reaktor lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah massa karbon dan *activating agent* yang digunakan.

Pada tabel di atas, jumlah massa yang hilang karena reaksi didapat dari perhitungan jumlah massa arang dan massa *activating agent* dikurangi dengan massa yang keluar reaktor. Massa yang hilang ini merepresentasikan hasil reaksi antara karbon dengan *activating agent* sehingga semakin besar jumlahnya, maka semakin banyak pula hasil reaksinya. Semakin banyak hasil reaksi menandakan bahwa reaksi yang terjadi antara *activating agent* dengan karbon juga semakin banyak. Jika reaksi yang terjadi semakin banyak, maka pori-pori yang terbentuk juga semakin banyak. Pori-pori yang terbentuk inilah yang nantinya menentukan luas permukaan dari karbon aktif. Namun, reaksi ini juga diharapkan tidak menghabiskan karbon yang ada. Hal ini dikarenakan tujuan dari reaksi ini ialah membentuk pori-pori pada karbon. Jika reaksi yang terjadi terlalu banyak, maka

besar kemungkinan struktur pori yang terbentuk menjadi rusak. Hal tersebut dapat menghasilkan luas permukaan yang rendah pada karbon aktif.

Dari hasil perhitungan untuk aktivasi dengan *activating agent*  $H_3PO_4$  memperlihatkan bahwa semakin besar rasio massa *activating agent*/massa arang, maka jumlah massa yang hilang karena reaksi semakin besar. Untuk kenaikan rasio massa *activating agent*/massa arang, kenaikan jumlah massa yang hilang masih wajar. Sama halnya dengan aktivasi dengan menggunakan KOH sebagai *activating agent*. Besar jumlah massa yang hilang tidak jauh berbeda untuk ketiga rasio massa *activating agent*/massa arang. Hal ini menandakan bahwa jumlah *activating agent*  $H_3PO_4$  dan KOH yang digunakan tidak berlebihan sehingga tidak terjadi reaksi yang berlebihan pula.

#### 4.1.4 Proses Pencucian dan Hasil Karbon Aktif setelah Pengeringan

Proses pencucian karbon aktif setelah aktivasi bertujuan untuk mendapatkan karbon yang lebih murni. Hal ini dikarenakan masih adanya hasil reaksi antara *activating agent* dan karbon maupun sisa *activating agent* yang terdapat didalamnya, maka hasil proses aktivasi tersebut harus dicuci terlebih dahulu. Jika tidak dicuci terlebih dahulu, maka hasil reaksi tersebut menutup atau tersimpan dalam pori-pori karbon aktif yang dihasilkan. Hasil reaksi ini menutup pori-pori yang terbentuk sehingga saat proses pengukuran luas permukaan dikhawatirkan tidak maksimal.

Tahap pertama pada proses pencucian ini adalah karbon aktif menggunakan KOH dicuci dengan HCl 5 N terlebih dahulu. Tujuan pencucian dengan HCl ini ialah menghilangkan hasil reaksi maupun sisa *activating agent* yang tersimpan dalam karbon aktif dan menghilangkan sisa-sisa *activating agent* yang kemungkinan masih ada. Pada saat HCl dicampurkan ke dalam karbon aktif hasil aktivasi timbul bau dan gelembung-gelembung gas. Hal ini diperkirakan merupakan gas hasil reaksi yang menempati pori-pori pada saat proses aktivasi sehingga pada saat proses pencucian, gas tersebut keluar dari pori-pori karbon aktif. Karbon aktif hasil aktivasi untuk semua sampel dengan KOH dicuci menggunakan HCl, sedangkan untuk  $H_3PO_4$  cukup dengan aquadest. Proses pencucian dihentikan saat gelembung-gelembung sudah tidak terbentuk lagi

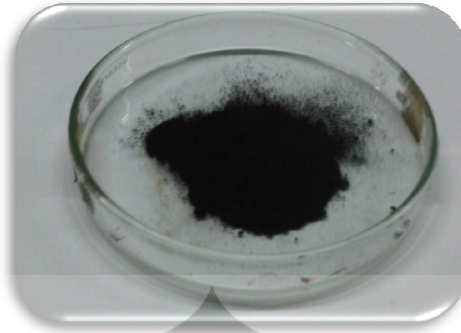
sehingga menandakan bahwa hasil reaksi maupun sisa *activating agent* sudah tidak ada lagi dalam karbon aktif.

Setelah selesai pencucian dengan HCl, selanjutnya karbon aktif dicuci dengan aquadest untuk menghilangkan HCl yang masih terdapat dalam karbon aktif. Pencucian dengan aquadest ini dilakukan berkali-kali sampai pH netral. Selama proses pencucian dan penyaringan, digunakan pompa vakum yang bertujuan untuk mempercepat proses ini. Proses pencucian karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



**Gambar 4.7** Proses Pencucian dan Penyaringan Karbon Aktif

Setelah didapat pH yang netral, maka karbon aktif yang telah dicuci ini dikeringkan dalam oven untuk menguapkan atau menghilangkan air. Untuk memastikan bahwa air sudah tidak ada lagi dalam karbon aktif, maka setelah dikeluarkan dari oven dan ditimbang, karbon aktif dimasukkan lagi ke dalam oven untuk beberapa saat. Kemudian karbon aktif ditimbang kembali. Jika tidak terjadi perubahan massa lagi, maka dapat dipastikan bahwa karbon aktif sudah kering. Gambar karbon aktif yang sudah dicuci dan dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Hasil Karbon Aktif

Hasil karbon aktif yang didapatkan untuk aktivasi dengan KOH dan  $H_3PO_4$  tidak menunjukkan bentuk maupun warna yang berbeda sehingga jenis dan perbandingan antara massa *activating agent* dan massa arang tidak mempengaruhi bentuk karbon aktif yang dihasilkan.

Sesuai dengan tujuan dari proses pencucian ini, yaitu untuk menghilangkan hasil reaksi dan sisa *activating agent*, maka setelah proses pencucian ini terjadi pengurangan massa dari karbon aktif yang keluar dari reaktor (sebelum dicuci) dan massa karbon aktif yang telah dicuci dan dikeringkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan

<i>Activating agent</i>	Perbandingan massa <i>activating agent</i> /arang	Massa yang keluar reaktor (gram)	Massa karbon aktif (gram)	Yield Karbon Aktif (%)
KOH	1:1	29,66	10,25	34,56
	2:1	40,30	7,98	19,80
	3:1	47,70	7,81	16,38
$H_3PO_4$	1:1	20,98	14,19	67,66
	2:1	32,04	14,41	44,99
	3:1	41,20	14,72	35,73

Dari hasil perhitungan di atas terlihat bahwa yield karbon aktif yang dihasilkan semakin rendah untuk perbandingan massa *activating agent* dan massa karbon yang semakin besar. Semakin rendah yield karbon aktif yang dihasilkan



menandakan bahwa hasil reaksi yang terdapat dalam karbon aktif yang keluar dari reaktor semakin banyak. Jadi, jika persentase penambahan massa pada perhitungan sebelumnya besar, maka yield karbon aktif pada tabel hasil perhitungan di atas seharusnya semakin kecil.

Untuk *activating agent* KOH, persentase yield yang didapatkan sesuai dengan perhitungan sebelumnya, yaitu persentase penambahan massa setelah keluar reaktor semakin besar seiring dengan semakin besarnya rasio yang digunakan. Hal yang sama juga terjadi untuk *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Pada tabel hasil perhitungan di atas memperlihatkan bahwa semakin besar rasio antara massa *activating agent* dan massa arang, maka semakin rendah yield yang dihasilkan. Setelah selesai proses pencucian dan pengeringan, maka telah didapat karbon aktif yang murni. Proses selanjutnya yang dilakukan ialah karakterisasi luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan.

#### 4.2 Analisis Luas Permukaan

Luas permukaan karbon aktif sebagai adsorben merupakan salah satu parameter yang penting. Karbon aktif dapat dikatakan sebagai adsorben yang baik jika memiliki luas permukaan yang tinggi. Hal ini dikarenakan luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi. Luas permukaan pada umumnya diukur dengan metode BET. Namun, selain menggunakan metode BET, luas permukaan juga dapat dihitung menggunakan bilangan iodin, yakni merupakan data penyerapan karbon aktif terhadap iodin (mg iodin/gram karbon aktif).

Analisis penentuan angka iodin pada karbon aktif menggunakan karbon aktif yang telah dioven pada suhu 115°C selama satu jam untuk memastikan tidak adanya kandungan air yang mengisi pori karbon aktif sehingga kemampuan adsorpsi karbon aktif terhadap iodin lebih maksimal. Karbon aktif yang sudah kering dan mempunyai berat konstan selanjutnya diinteraksikan dengan larutan iodin 0,1 N sebanyak 50 ml yang ditutup dengan *aluminium foil*. Proses interaksi dikondisikan dalam ruang tertutup yang dihindarkan dari udara terbuka agar iodin tidak mengalami proses oksidasi karena kontak dengan udara luar. Pada proses

interaksi ini terjadi peristiwa adsorpsi antara adsorben berupa karbon aktif dengan adsorbat berupa larutan iodin.

Selama proses adsorpsi, larutan iodin banyak yang masuk ke pori karbon aktif dan teradsorp di permukaannya. Banyaknya iodin yang teradsorpsi oleh karbon aktif selanjutnya ditentukan sebagai angka iodin yang menyatakan banyaknya iodin yang mampu diadsorpsi oleh karbon aktif (mg/g). Larutan iodin sisa adsorpsi tersebut kemudian dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N. Titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna kuning pucat pada larutan iodin. Karbon aktif yang mempunyai daya serap yang tinggi terhadap iodin berarti memiliki luas permukaan yang lebih besar dan struktur mikro dan mesoporous yang lebih besar (Jankowska, 1991).

Berikut hasil pengujian bilangan iodin yang merepresentasikan luas permukaan pada karbon aktif yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut.

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Bilangan Iodin Karbon Aktif

<b>Jenis Aktivasi</b>	<b>Activating agent</b>	<b>Perbandingan massa activating agent/arang</b>	<b>Bilangan Iodin (mg/g)</b>
<b>Kimia</b>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1 : 1	440,10
		2 : 1	740,10
		3 : 1	772,08
	KOH	1 : 1	336,50
		2 : 1	386,58
		3 : 1	744,92
<b>Fisika</b>			283,38

Selain menggunakan metode bilangan iodin, untuk mengetahui luas permukaan karbon (m<sup>2</sup>/g) dan memastikan terjadinya pembentukan pori pada karbon aktif ini juga dilakukan uji BET pada setiap sampel penelitian ini. Hasil uji luas permukaan BET dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Hasil Luas Permukaan Karbon Aktif

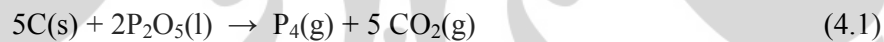
Jenis Aktivasi	Activating agent	Perbandingan massa activating agent/arang	Bilangan Iodin (mg/g)	Luas Permukaan BET (m <sup>2</sup> /g)
Kimia	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1 : 1	440,10	342,60
		2 : 1	740,10	760,60
		3 : 1	772,08	780,80
	KOH	1 : 1	336,50	330,60
		2 : 1	386,58	352,40
		3 : 1	744,92	549,10
Fisika			283,38	204,80

Dari hasil pengujian luas permukaan dapat dilihat bahwa jenis *activating agent* dan rasio massa *activating agent*/massa arang mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Luas permukaan karbon aktif tertinggi yang direpresentasikan dengan bilangan iodin dicapai oleh karbon aktif dengan aktivasi menggunakan *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan rasio massa *activating agent*/massa karbon 3/1, sedangkan karbon aktif dengan metode aktivasi fisika memiliki bilangan iodin terendah. Hal ini menandakan bahwa penggunaan *activating agent* mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Dari hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan aktivasi kimia lebih baik dibandingkan dengan aktivasi fisika untuk pembuatan karbon aktif dari bambu.

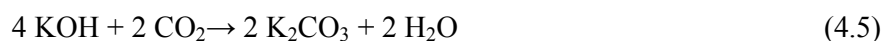
Menurut penelitian yang telah dilakukan, dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, *activating agent* yang lebih baik digunakan untuk material lignoselulosic ialah *activating agent* yang bersifat asam, seperti H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan ZnCl<sub>2</sub>, dibandingkan dengan *activating agent* yang bersifat basa, seperti KOH dan NaOH (Hsu dan Teng, 2000). Hal ini dikarenakan pada material lignoselulosic yang terdapat pada bambu memiliki kandungan oksigen yang tinggi dan *activating agent* yang bersifat asam tersebut bereaksi dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen. Alasan tersebut pula yang menjadi dasar pemilihan *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> digunakan dalam penelitian ini sehingga karbon aktif yang dihasilkan dengan menggunakan *activating agent* H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> memiliki luas

permukaan yang direpresentasikan dengan bilangan iodin yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan KOH sebagai *activating agent*.

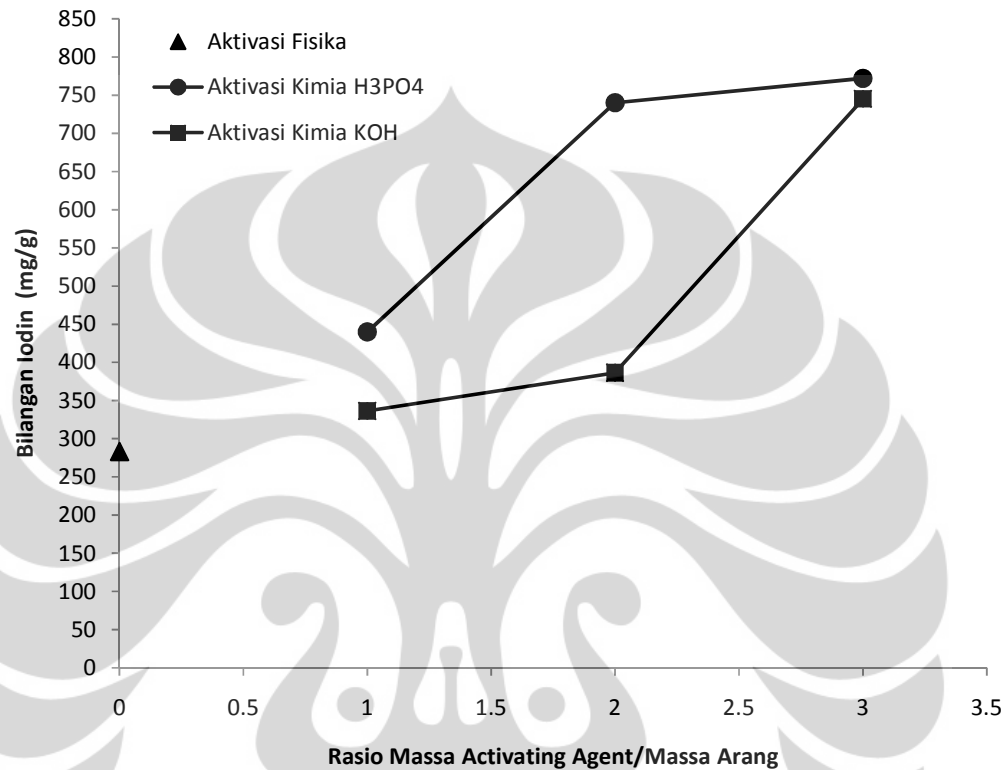
Bilangan iodin dari karbon aktif yang diaktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  mendapatkan hasil yang baik. Untuk setiap rasio massa *activating agent*/massa karbon sebesar 1/1, 2/1, dan 3/1 pada suhu yang sama di  $700^\circ C$  memberikan bilangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses aktivasi dengan KOH. Hal ini dapat terjadi berdasarkan perbedaan temperatur efektif untuk  $H_3PO_4$  dan KOH bereaksi dengan karbon. Reaksi gasifikasi matriks karbon oleh  $H_3PO_4$  sebagai *activating agent* mulai terjadi pada suhu  $350-400^\circ C$  dan kemudian meningkat pada suhu diatas  $450-600^\circ C$ , selanjutnya pada suhu  $600^\circ C$  polimorf  $H_3PO_4$  mulai habis terbakar dan berpengaruh pada pembentukan pori karbon dan luas permukaan. Pada temperatur diatas  $600^\circ C$ , reaksi dengan karbon akan semakin meningkat dan menyebabkan terjadinya pembentukan pori yang lebih banyak dan menghilangkan  $P_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan material *volatile* lainnya seperti pada reaksi berikut (Jibril et al., 2008):



Untuk aktivasi menggunakan KOH, reaksi awal dehidrasi untuk menghilangkan kandungan air akan terjadi diatas suhu  $400^\circ C$  sehingga menyebabkan reaksi pembentukan pori karbon oleh KOH akan terjadi pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivasi menggunakan  $H_3PO_4$ . Oleh karena itu, pada suhu  $700^\circ C$ , luas permukaan dengan aktivasi menggunakan  $H_3PO_4$  lebih tinggi dibandingkan dengan aktivasi menggunakan KOH. Reaksi yang terjadi adalah (Pujiyanto, 2010):



Berikut merupakan hasil uji luas permukaan karbon aktif yang direpresentasikan dengan bilangan iodin untuk aktivasi fisika dan aktivasi kimia dengan menggunakan KOH maupun  $H_3PO_4$  yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.

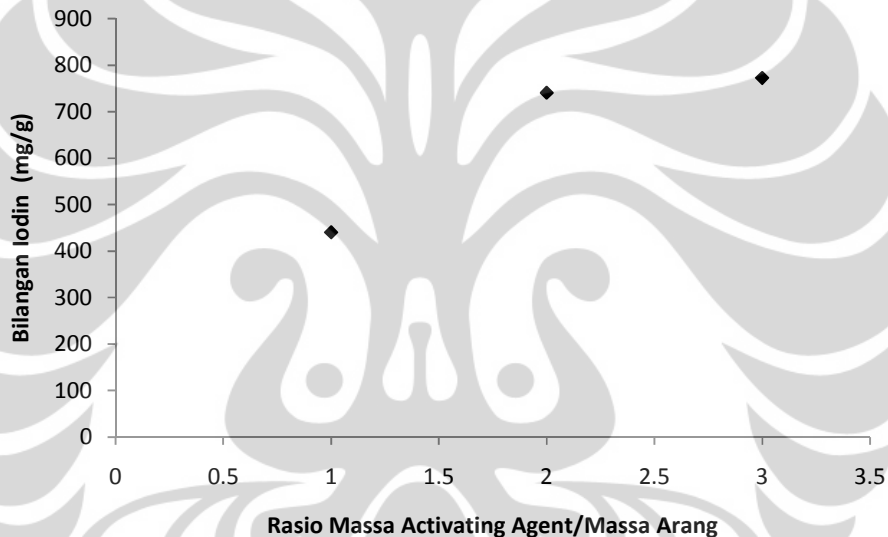


**Gambar 4.9** Hubungan Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa *Activating Agent*/Massa Arang serta Aktivasi Fisika sebagai Pembading

Dari grafik di atas terlihat besar luas permukaan karbon aktif yang direpresentasikan dengan bilangan iodin dari semua sampel yang diuji. Hasil bilangan iodin tertinggi, yaitu sebesar 772,08 mg/g dicapai oleh karbon aktif dengan aktivasi kimia menggunakan  $H_3PO_4$ . Untuk aktivasi kimia menggunakan KOH, bilangan tertinggi yang diperoleh ialah 744,92 mg/g. Bilangan iodin karbon aktif yang dihasilkan dengan aktivasi fisika sangat rendah, yaitu 283,38 mg/g. Bilangan yang dihasilkan ini sangat rendah dikarenakan untuk proses aktivasi fisika diperlukan suhu yang sangat tinggi untuk menghasilkan luas permukaan yang tinggi. Hal ini dikarenakan tidak adanya *activating agent* yang membantu dalam pembentukan pori-pori pada karbon. Suhu aktivasi yang digunakan pada

penelitian ini cukup rendah jika digunakan untuk proses aktivasi fisika. Pada umumnya, untuk proses aktivasi fisika digunakan suhu di atas  $900^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu, pada penelitian ini dihasilkan luas permukaan karbon aktif yang rendah untuk proses aktivasi fisika. Penggunaan suhu aktivasi yang lebih rendah menjadi salah satu keunggulan proses aktivasi kimia dibandingkan dengan proses aktivasi fisika (Rodenas, 2003).

Pengaruh rasio massa *activating agent*/massa arang terhadap luas permukaan yang direpresentasikan dengan bilangan iodin untuk penggunaan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sebagai *activating agent* dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut.

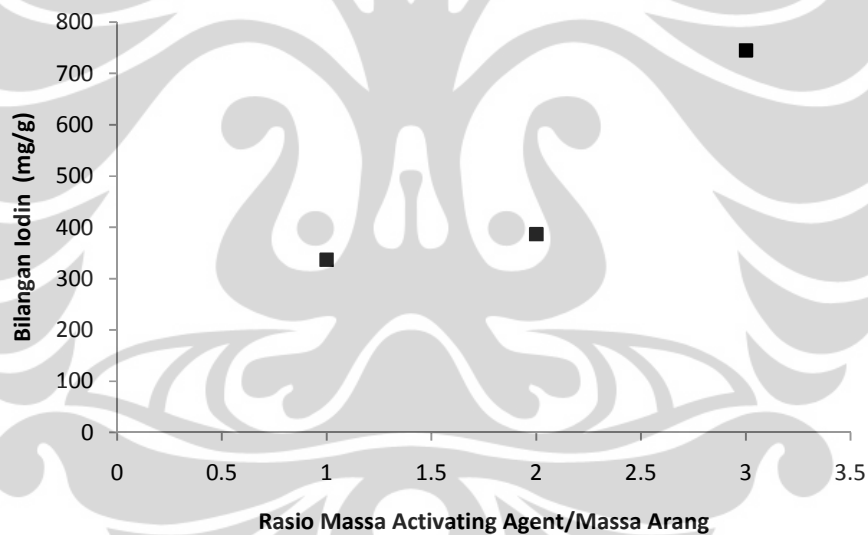


**Gambar 4.10** Hubungan antara Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa *Activating Agent*/Massa Arang untuk Aktivasi Kimia Menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$

Dari grafik di atas terlihat bahwa untuk aktivasi menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , rasio massa *activating agent*/massa arang berpengaruh terhadap luas permukaan yang dihasilkan. Dapat dilihat bahwa bilangan iodin karbon aktif meningkat seiring dengan kenaikan rasio  $\text{H}_3\text{PO}_4$ /arang bambu. Konsisten dengan penelitian sebelumnya, *micropores* dan *mesopores* juga meningkat dengan seiring dengan kenaikan rasio (Jibril et al., 2008). Dosis  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang meningkat akan membuat lebih banyak area yang dapat diserap oleh *activating agent*, hal tersebut bermanfaat untuk membuka pori-pori dan pelebaran proses. Dapat dilihat pada

grafik diatas, dari rasio 1/1 ke rasio 2/1 terjadi kenaikan bilangan iodin (luas permukaan) yang signifikan, akan tetapi pada peningkatan rasio 2/1 ke 3/1 tidak terjadi penambahan yang cukup banyak. Hal ini dapat disebabkan oleh  $H_3PO_4$  yang berlebihan dapat membuat tidak terjadinya aktivasi lebih lanjut karena lapisan isolasi mungkin terbentuk (Molina-Sabio dan Rodriguez-Reinoso, 2004). Maka, walaupun bilangan iodin atau luas permukaan yang paling besar berada pada rasio 3/1 tetapi rasio  $H_3PO_4$ /massa arang bambu yang diusulkan adalah rasio diantara 2/1 dan 3/1 untuk mendapatkan aktivasi yang efektif dengan meminimalisasi konsumsi  $H_3PO_4$ .

Pengaruh rasio massa *activating agent*/massa arang terhadap luas permukaan yang direpresentasikan dengan bilangan iodin untuk penggunaan KOH sebagai *activating agent* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Hubungan antara Luas Permukaan yang Direpresentasikan dengan Bilangan Iodin dan Rasio Massa *Activating Agent*/Massa Arang untuk Aktivasi Kimia Menggunakan KOH

Hasil uji bilangan iodin menunjukkan bahwa untuk karbon aktif dengan aktivasi kimia menggunakan KOH sebagai *activating agent* juga dipengaruhi oleh rasio massa *activating agent*/massa arang. Semakin besar rasio yang digunakan, maka semakin besar pula bilangan iodin yang dihasilkan. Semakin besar bilangan iodin maka luas permukaan yang dihasilkan pun akan semakin besar. Seperti pada

penelitian sebelumnya di Departemen Teknik Kimia UI, terdapat pembuatan karbon aktif dengan ampas tebu menggunakan KOH dan memperoleh hasil luas permukaan yang cukup besar yakni, 938,2 m<sup>2</sup>/g dan luas permukaan yang dihasilkan semakin besar seiring dengan kenaikan rasio KOH dengan arang (Lydia, 2012). Oleh karena itu, dari hasil penelitian didapatkan bahwa untuk aktivasi kimia dengan menggunakan KOH sebagai *activating agent*, luas permukaan juga dapat ditingkatkan dengan memperbesar rasio massa *activating agent*/massa arang. Namun, untuk aktivasi menggunakan *activating agent* KOH, rasio massa *activating agent*/massa arang dalam penelitian ini belum diperoleh titik optimumnya sehingga belum diketahui rasio massa *activating agent*/massa arang maksimal yang dapat digunakan untuk menghasilkan luas permukaan tertinggi. Hal tersebut perlu diketahui mengingat penggunaan *activating agent* yang terlalu banyak dapat menyebabkan terjadinya reaksi yang berlebihan sehingga struktur pori dan akhirnya luas permukaan yang dihasilkan rendah.

Oleh karena itu, dari hasil pengujian penelitian ini terdapat beberapa hal yang perlu ditinjau lebih lanjut. Untuk rasio massa KOH/massa arang, perbandingannya dapat ditingkatkan kembali mengingat pada grafik antara rasio KOH dengan massa arang belum menemukan titik maksimum kurva. Untuk rasio massa H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/massa arang, dapat digunakan rasio diantara 2/1 dan 3/1 karena terdapat kemungkinan terdapat titik maksimum kurva diantara kedua titik. Untuk variasi suhu dan waktu aktivasi pada kedua *activating agent* dapat ditingkatkan kembali agar mendapatkan hasil luas permukaan yang maksimum.



## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pembuatan karbon aktif dari bambu dengan aktivasi kimia menggunakan  $H_3PO_4$  dan  $KOH$  yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Bambu dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.
2. Metode aktivasi kimia menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi pada pembuatan karbon aktif dari bambu jika dibandingkan dengan metode aktivasi fisika. Luas permukaan karbon aktif yang direpresentasikan dengan bilangan iodin pada metode aktivasi fisika sebesar 283,38 mg/g, sedangkan metode aktivasi kimia menghasilkan bilangan iodin mencapai 772,08 mg/g.
3. *Activating agent* yang lebih baik digunakan untuk pembuatan karbon aktif dari bambu dengan metode aktivasi kimia pada suhu  $700^{\circ}C$  selama 1 jam ialah  $H_3PO_4$ .
4. Perbandingan massa *activating agent* dengan arang bambu yang digunakan berpengaruh terhadap luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Untuk aktivasi menggunakan  $H_3PO_4$ , rasio massa *activating agent*/massa arang yang menghasilkan bilangan iodin tertinggi ialah 3/1 sebesar 772,08 mg/g. Untuk aktivasi menggunakan  $KOH$ , rasio massa *activating agent*/massa arang terbaik ialah 3/1 dengan bilangan iodin sebesar 744,92 mg/g.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian pembuatan karbon aktif dari bambu dengan aktivasi kimia menggunakan  $H_3PO_4$  dan  $KOH$  yang dilakukan, maka terdapat saran-saran sebagai berikut untuk penelitian selanjutnya :

1. Melakukan proses pembuatan karbon aktif dengan variasi rasio *activating agent* diantara 2/1 dan 3/1 untuk  $H_3PO_4$  dan variasi rasio yang lebih tinggi untuk  $KOH$ .
2. Temperatur yang lebih tinggi untuk *activating agent*  $KOH$  dan mencoba variasi variabel waktu aktivasi untuk kedua *activating agent*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2011). *Bambu Betung*. Available from URL:  
<http://pandegelang.olx.co.id/bambu-apus-dan-bambu-betung-iid-127533503>  
Diakses 13 April 2011
- Atkins. (1999). *Kimia Fisika Jilid Dua*. Jakarta: Erlangga.
- Atmayudha, A. (2007). *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol serta Uji Kinerjanya*, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Aurorra. (2011). *Aurorra Gold Mining Consultant*. Available from URL:  
<http://indonetwork.co.id/aurorra/1374538/karbon-aktif-import.htm> Diakses 13 April 2011
- Baksi, Soumitra Biswas & S Mahajan. (2003). *Activated Carbon from Bamboo-Technology Development towards Commercialisation*. BAMTECH-2003. March 12-13, Guwahati, India
- Benfield, L. D., Judkins, J. F., dan Weand, B. L. (1982). *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Chand, B., Roop, and Meenakshi Goyal. (2005). *Activated Carbon Adsorption*.
- Cheremisinoff, P. N., Cheremisinoff, N. P. (1993). *Water Treatment and Waste Recovery*. New Jersey: Prentice hall, Englewood Cliffs.
- Choy, K.K.H., Barford, J.P., McKay, G. (2005). *Production of Activated Carbon from Bamboo Scaffolding Waste—Process Design, Evaluation and Sensitivity Analysis*, Chemical Engineering Journal 109, 147–165
- Dabrowski, A., Podkoscielny, P., Hubicki, Z., Barczak, M. (2005). *Adsorption of Phenolic Compounds by Activated Carbon—a Critical Review*. Chemosphere 58, 1049–1070
- Diao, Y., W.P. Walawender, L.T. Fan. (2002). *Bioresource Technol.* 81 45.
- Dransfield, S. and W. E.A. (1995). *Plant Resources of Southeast Asia No.7: Bamboos*. PROSEA, Bogor.
- Garcia-Garcia, A., Gregorio, A., Boavida, D., Gulyurtlu, I. (2002). *Production And Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in A Pilot Reactor*, National Institute of Engineering and Industrial Technology, Estrada do Paço do Lumiar, 22, Edif. J, 1649-038, Lisbon, Portugal

- Hendra, R. (2008). *Skripsi: Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Indonesia dengan Metode Aktivasi Fisika dan Karakteristiknya*. Depok: Universitas Indonesia.
- Hsu, L.Y., Teng, H. (2000). *Influence of Different Chemical Reagents on the Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coal*. *Fuel Processing Technology*, 64, 155-166.
- Ip, A.W.M., Barford, J.P., McKay, G. (2008). *Production and Comparison of High Surface Area Bamboo Derived Active Carbons*. *Bioresources Technol.* 99 (18) 8909–8916.
- Jankowska, H., Swiatkowski, A., Choma, J. (1991). *Active Carbon*. New York: Ellis Horwood.
- Jibril, B., Houache, O., Al-Maamari, A, Al-Rashidi, B. (2008). *Effects of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and KOH in Carbonization of Lignocellulosic Material*. *J Anal. ApplPyrolysis* (83) 151–156.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F. (1978). *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 5. Interscience Encyclopedia. Inc. New York.
- Krisdianto, G. Sumarni, dan A. Ismanto. (2000). *Sari Hasil Penelitian Bambu*. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Li, W., Zhang, L.B., Peng, J.H., Li, N., Zhu, X.Y. (2008). *Preparation of High Surface Area Activated Carbons from Tobacco Stems with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Activation using Microwave Radiation*. *Ind. Crops Prod.* 27, 341–347
- Lydia. (2012). *Skripsi: Pembuatan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia Menggunakan KOH dan ZnCl<sub>2</sub>*. Depok: Universitas Indonesia.
- Liou, Tzong-Horng. (2010). *Development of Mesoporous Structure and High Adsorption Capacity of Biomass-based Activated Carbon by Phosphoric Acid and Zinc Chloride Activation*, *Chemical Engineering Journal* 158, 129–142
- Maron, S.H., dan Lando, J. (1974). *Fundamentals of Physical Chemistry*, New York, Macmillan Publishing Co. Inc
- Mc. Cabe, W.L., Smith, J.C., Harriot, P. (1999). *Operasi Teknik Kimia*. Penerbit Erlangga, Jakarta, jilid 2, edisi 4, pp. 229-236
- Molina-Sabio, M., Rodriguez-Reinoso, F. (2004). *Role of Chemical Activation in the Development of Carbon Porosity*, *Colloids Surf. A* 241, 15–25.
- Mui, E. L.K., Cheung, W.H., Valix, Marjorie, McKay, G. (2010). *Activated Carbons from Bamboo Scaffolding Using Acid Activation*. *Separation and Purification Technology* 74 213–218

- Mulyati, S. (2006). *Potensi Batubara Lokal dengan Perlakuan sebagai Adsorben untuk Penanganan Limbah Cair Benzena dan Toluena*, Skripsi Depok, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia FTUI.
- Pujiyanto. (2010). *Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa*. Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia FTUI
- Qiaoa, W., Songb, Y., Yoona, S., Korai, Y. (2006). *Carbonization of Waste PVC to Develop Porous Carbon Material without Further Activation*. Waste Management. Volume 26, Issue 6, 592-598.
- Rodenas, M. A. L., Amoros, D. Cazorla, Solano, A. Linares. (2003). *Understanding Chemical Reactions between Carbons and NaOH and KOH An Insight into The Chemical Activation Mechanism*. Carbon, 41, 267-275
- Rodriguez-Reinoso, F., Buss, G.Y. (1993). *European Patent EP 0329 251 B1*.
- Soedarsono dan Syahputra, Benny. (2005). *Pengolahan Air Limbah Batik dengan Proses Kombinasi Elektrokimia, Filtrasi, dan Adsorpsi*, Makalah, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA), Semarang
- Sontheimer, J.E. (1985). *Activated Carbon for Water Treatment*, Netherlands, Elsevier, pp. 51-105
- Srinivasakannan, C., Bakar, M. Z. A. (2004). *Production of Activated Carbon from Rubber Wood Sawdust*. Biomass Bioenergy, 27, 89-96.
- Sudibandriyo, M. (2003). *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model For High Pressure on Carbon Adsorben*, Ph.D Dissertation, Oklahoma State University
- Sudibandriyo, M. (2011). *Production of Super Activated Carbon from Coal and Coconut Shell Using Chemical Activation*. International Journal Chemical and Research.
- Treybal, R.E. (1980). *Mass Transfer Operation*, Singapore, Mc.Graw Hill, 3<sup>rd</sup> edition.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Tabel Perhitungan Bilangan Iodin

Jenis Karbon	Massa Karbon (g)	Volume I <sub>2</sub> (ml)	Volume Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tahap I (ml)	Volume Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tahap II (ml)	Iodin yang terserap (mg/g)	Rata-rata Iodin yang terserap (mg/g)
Aktivasi Fisika	0.5154	10	7.4	0.2	295.460	283.385
	0.5145	10	7.5	0.3	271.312	
KOH 1:1	0.5181	10	7.1	0.2	330.660	336.508
	0.5004	10	7.0	0.3	342.356	
KOH 2:1	0.5088	10	6.6	0.3	386.586	386.586
	0.5088	10	6.7	0.2	386.586	
KOH 3:1	0.5068	10	3.7	0.3	751.184	744.924
	0.5068	10	3.8	0.3	738.664	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 1:1	0.5046	10	6.6	0.4	377.229	440.101
	0.5046	10	5.8	0.2	502.973	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 2:1	0.5101	10	3.9	0.2	733.886	740.104
	0.5101	10	3.7	0.3	746.324	
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 3:1	0.5013	10	3.6	0.3	772.083	772.082
	0.5013	10	3.5	0.4	772.083	

Contoh Perhitungan Bilangan Iodin untuk Aktivasi Fisika:

$$\begin{aligned}
 \text{Iod yang diadsorpsi, } \frac{mg}{g} &= \frac{10 - \frac{V \times N}{0,1}}{W} \times 12,69 \times 5 \\
 &= \frac{10 - \frac{(7,4+0,2) \times 0,1}{0,1}}{0,5154} \times 12,69 \times 5 \\
 &= 295,460 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

Dengan

$V$  = Larutan Natrium Tio-Sulfat yang diperlukan (ml)

$N$  = Normalitas larutan Natrium Tio-Sulfat

12,69 = Jumlah Iod sesuai dengan 1 ml larutan Natrium Tio-Sulfat 0,1 N

$W$  = Sampel (gram)

## Lampiran 2. Hasil Uji BET Luas Permukaan Karbon Aktif

Page 1

Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Aktivasi Fisika	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Description	Tias	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	132.3 min
Comments		P/Po Toler	3	End of Run	05/24/2012 14:04
Sample Weight	0.3460 g	Equil Time	2	File Name	AS977859.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule				
NonIdeality	6.580E-05				
Molecular Wt	28.0134 g/mol				
Station #	5				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	2.048E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	3.052E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	6.137E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.434E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	3.010E+02	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	7.563E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.070E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.015E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.020E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	6.056E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.520E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.377E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.584E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 768.42 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	Aktivasi Fisika				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3460 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	132.3 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/24/2012 14:04
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977859.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	5				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
5.4692e-02	61.1384	7.572E-01
7.4238e-02	62.6023	1.025E+00
1.0064e-01	63.9269	1.401E+00
1.4896e-01	65.5043	2.138E+00
2.0195e-01	66.7095	3.035E+00
2.5432e-01	67.6191	4.036E+00
3.0590e-01	68.3179	5.162E+00

Area = 2.048E+02 m<sup>2</sup>/g

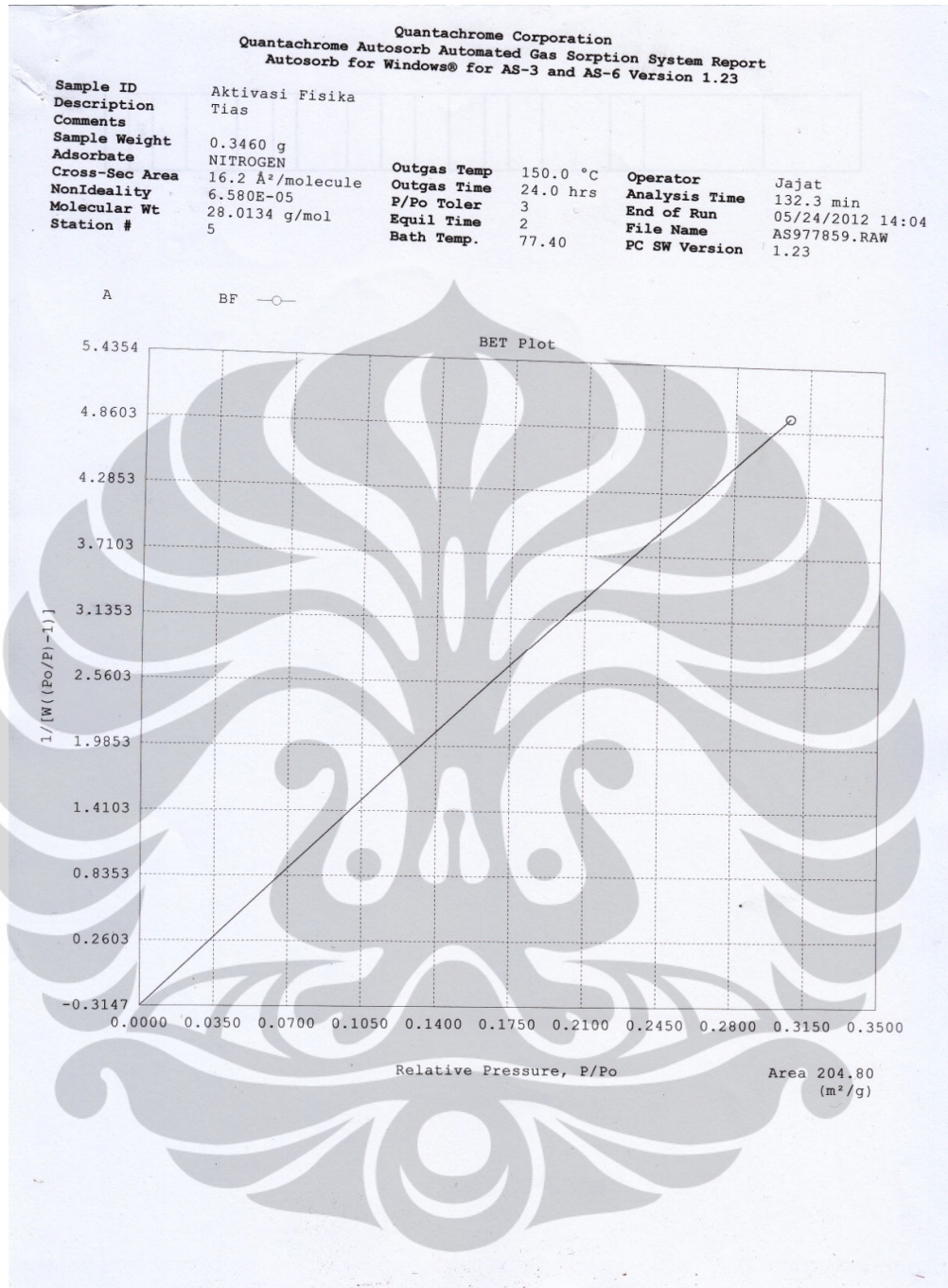
Slope = 1.732E+01

Y - Intercept = -3.147E-01

Correlation Coefficient = 0.997172

C = -5.403E+01







Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 1:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3008 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	98.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/30/2012 16:05
Nonideality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977869.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	6				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.426E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	5.075E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	1.215E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.210E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.007E+02	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.161E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.779E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.675E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.685E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	6.514E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.600E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.362E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.547E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 768.53 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 1:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3008 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	98.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/30/2012 16:05
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977869.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	6				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
4.7526e-02	98.3893	4.058E-01
7.5999e-02	102.5422	6.418E-01
9.7630e-02	104.7886	8.261E-01
1.5325e-01	108.3564	1.336E+00
2.0044e-01	110.2324	1.820E+00
2.5159e-01	111.8773	2.404E+00
3.0326e-01	113.2241	3.076E+00

Area = 3.426E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 1.033E+01

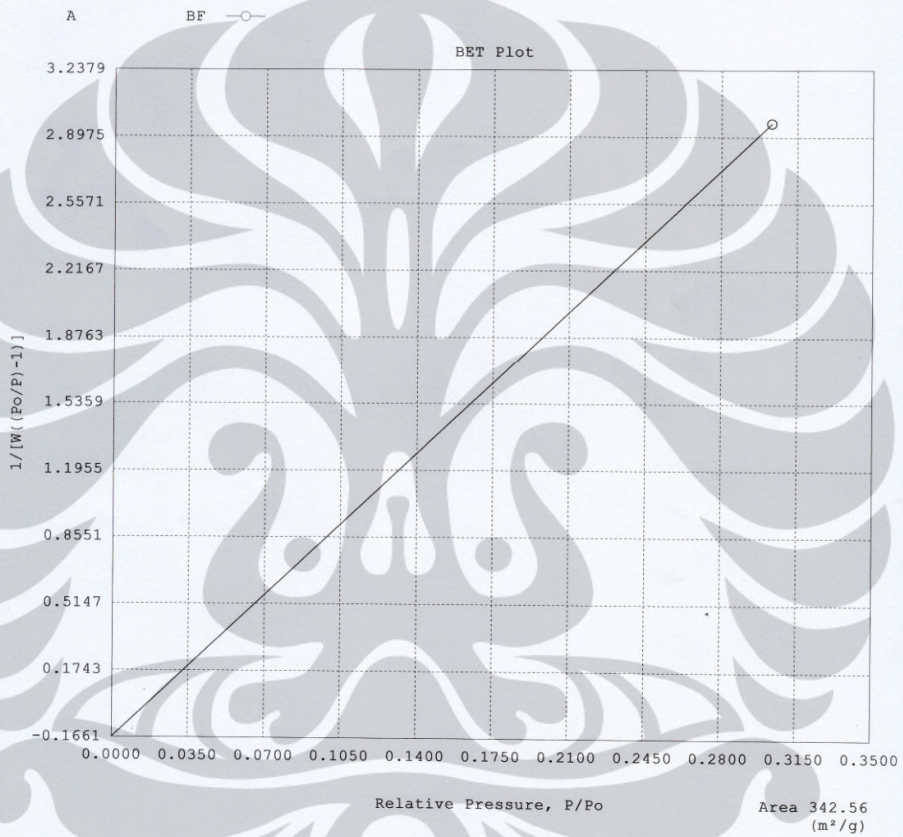
Y - Intercept = -1.661E-01

Correlation Coefficient = 0.997093

C = -6.120E+01

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 1:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3008 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	98.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/30/2012 16:05
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977869.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	6				



Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 2:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3800 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	89.7 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/12/2012 18:33
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148401.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	7.606E+02	m <sup>2</sup> /g
Single Point BET.....	7.588E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	1.133E+03	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	3.420E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.186E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.115E+03	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.210E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	3.963E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	3.658E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	3.689E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	7.507E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.680E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.367E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.565E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 766.14 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.  
BJH/DH Moving Average Size : 1  
Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 2:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3800 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	89.7 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/12/2012 18:33
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148401.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
4.9164e-02	209.2863	1.977E-01
7.5916e-02	219.9482	2.989E-01
9.8328e-02	226.2950	3.856E-01
1.5062e-01	236.2808	6.005E-01
2.0209e-01	242.4418	8.359E-01
2.4974e-01	246.5353	1.080E+00
3.0271e-01	250.0274	1.389E+00

Area = 7.606E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 4.643E+00

Y - Intercept = -6.461E-02

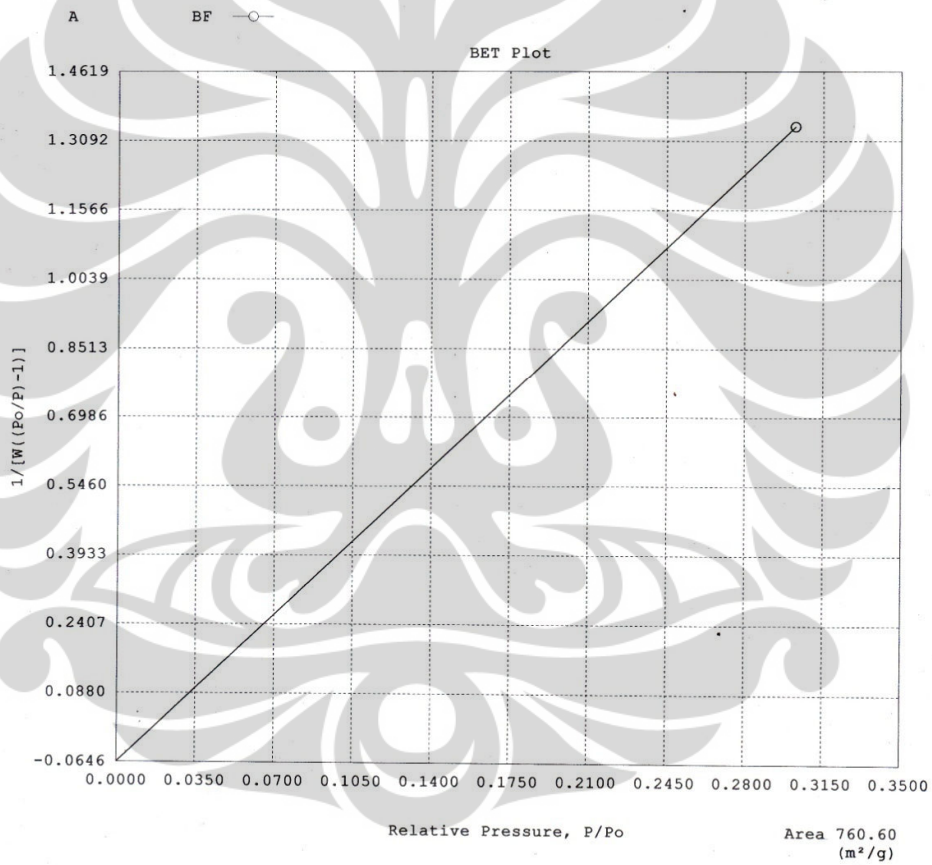
Correlation Coefficient = 0.997202

C = -7.086E+01



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3P04 2:1			Operator	Jajat
Description	Tias			Analysis Time	89.7 min
Comments				End of Run	06/12/2012 18:33
Sample Weight	0.3800 g	Outgas Temp	150.0 °C	File Name	AT148401.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3		
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	4				



Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 3:1					
Description	Tias					
Comments						
Sample Weight	0.2115 g					
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat	
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	90.9 min	
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	06/21/2012 15:19	
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AT148409.RAW	
Station #	5	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23	

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	7.808E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	1.158E+03	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	3.104E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	4.704E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.145E+03	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.471E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	4.070E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	3.787E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	3.815E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	7.107E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.640E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.367E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.565E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 767.10 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 3:1	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Description	Tias	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	90.9 min
Comments		P/Po Toler	3	End of Run	06/21/2012 15:19
Sample Weight	0.2115 g	Equil Time	2	File Name	AT148409.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule				
NonIdeality	6.580E-05				
Molecular Wt	28.0134 g/mol				
Station #	5				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
5.1455e-02	220.3853	1.969E-01
7.3814e-02	229.0723	2.784E-01
1.0236e-01	236.5744	3.856E-01
1.5294e-01	244.9286	5.898E-01
2.0203e-01	250.0837	8.100E-01
2.5538e-01	254.0969	1.080E+00
2.9888e-01	256.6331	1.329E+00

Area = 7.808E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 4.528E+00

Y - Intercept = -6.834E-02

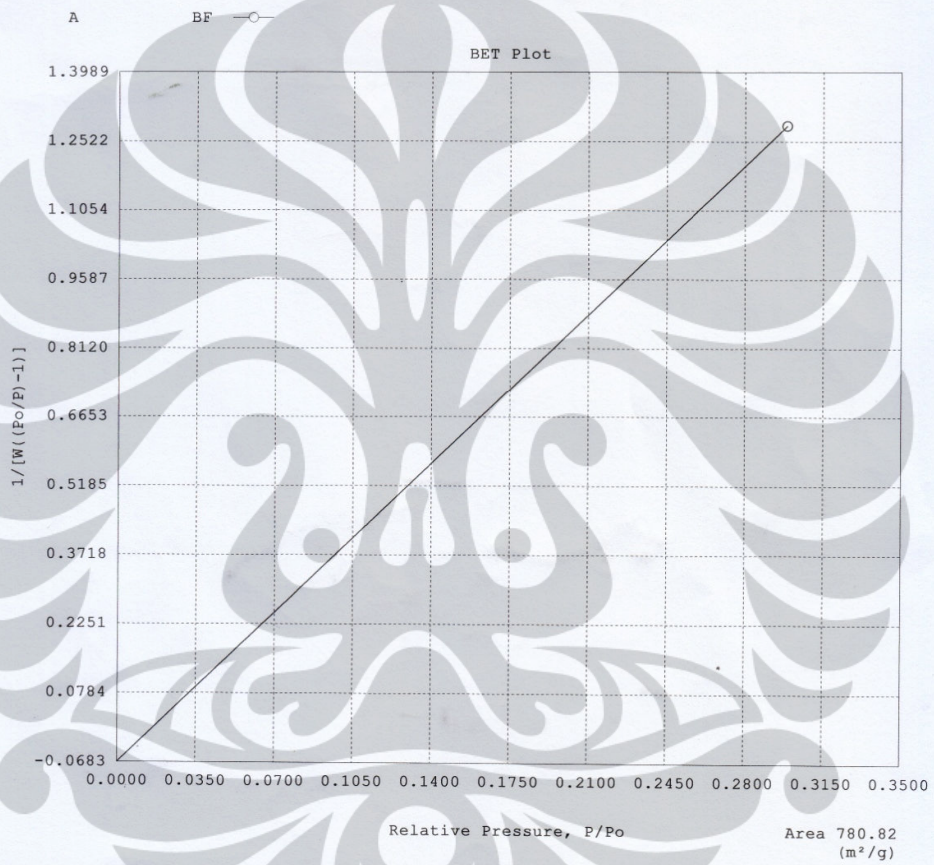
Correlation Coefficient = 0.997326

C = -6.526E+01



Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	H3PO4 3:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.2115 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	90.9 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/21/2012 15:19
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT148409.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	5				



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH 1:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3350 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	66.1 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	06/22/2012 16:09
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AT248400.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.306E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	4.901E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	5.858E+01	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.721E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	4.845E+02	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.428E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.722E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.672E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.677E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	4.505E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.380E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.408E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.630E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
 Last Po Acquired 773.16 mm Hg  
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH 1:1			Operator	Jajat
Description	Tias			Analysis Time	66.1 min
Comments				End of Run	06/22/2012 16:09
Sample Weight	0.3350 g	Outgas Temp	150.0 °C	File Name	AT248400.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3		
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	5				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
5.8286e-02	104.3319	4.747E-01
7.5878e-02	105.4051	6.233E-01
1.0071e-01	106.5409	8.410E-01
1.4831e-01	107.9681	1.290E+00
2.0095e-01	109.1501	1.844E+00
2.5308e-01	110.1349	2.462E+00
3.0455e-01	110.9692	3.157E+00

Area = 3.306E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 1.076E+01

Y - Intercept = -2.276E-01

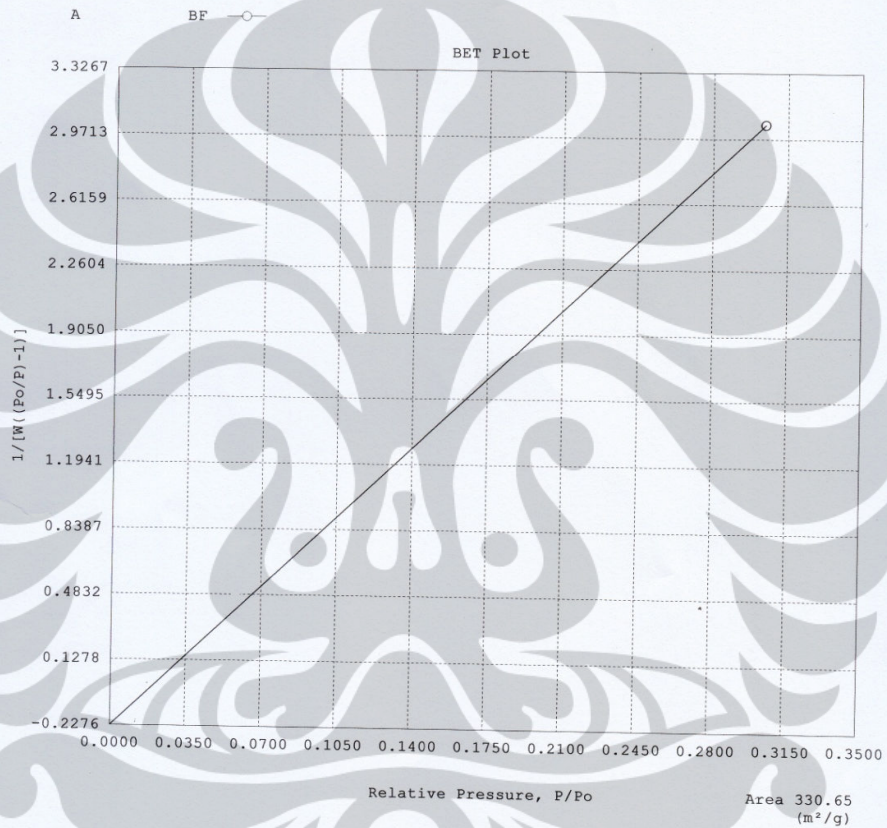
Correlation Coefficient = 0.997181

C = -4.627E+01



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH 1:1	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Description	Tias	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	66.1 min
Comments		P/Po Toler	3	End of Run	06/22/2012 16:09
Sample Weight	0.3350 g	Equil Time	2	File Name	AT248400.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule				
NonIdeality	6.580E-05				
Molecular Wt	28.0134 g/mol				
Station #	5				



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	kOH 2: 1				
Description	tias				
Comments					
Sample Weight	0.2011 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	132.3 min
Nonideality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	05/24/2012 14:04
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977859.RAW
Station #	5	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	3.524E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	5.251E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	1.056E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	2.468E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	5.179E+02	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.301E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	1.841E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	1.746E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	1.755E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	6.056E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.520E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.377E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.584E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
 Last Po Acquired 768.42 mm Hg  
 Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DR Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH 2: 1				
Description	tias				
Comments					
Sample Weight	0.2011 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	132.3 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/24/2012 14:04
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977859.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	1.23
Station #	5				

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
5.4692e-02	105.1909	4.401E-01
7.4238e-02	107.7096	5.957E-01
1.0064e-01	109.9885	8.141E-01
1.4896e-01	112.7026	1.243E+00
2.0195e-01	114.7762	1.764E+00
2.5432e-01	116.3411	2.346E+00
3.0590e-01	117.5435	3.000E+00

Area = 3.524E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 1.007E+01

Y - Intercept = -1.829E-01

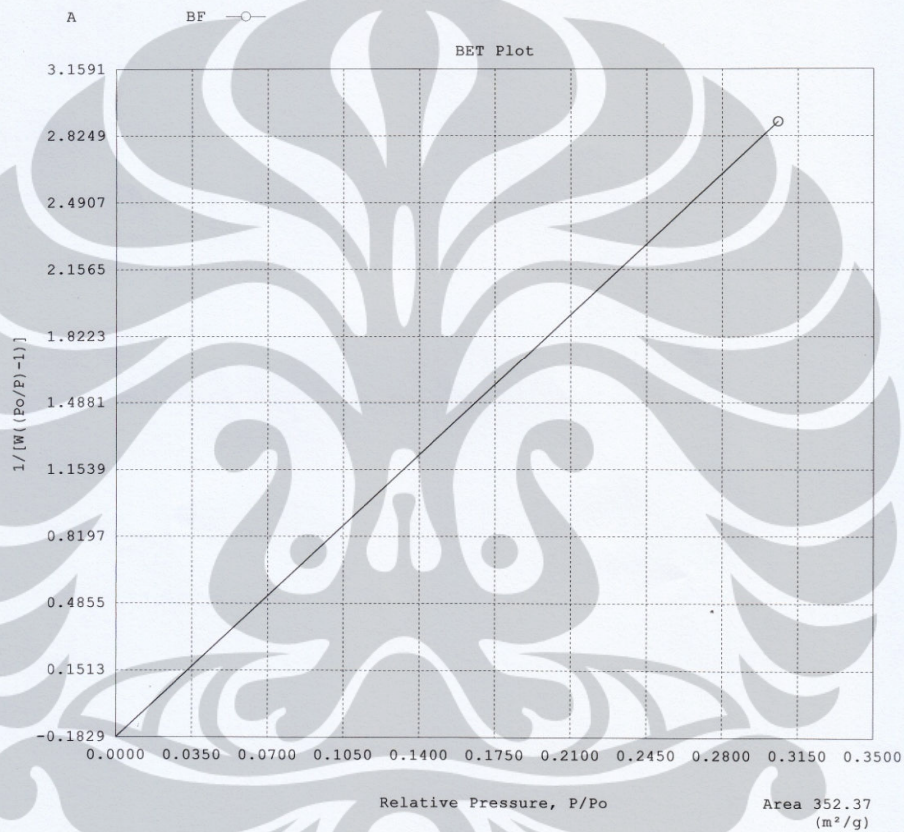
Correlation Coefficient = 0.997172

C = -5.403E+01



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	kOH 2: 1			Operator	Jajat
Description	tias			Analysis Time	132.3 min
Comments				End of Run	05/24/2012 14:04
Sample Weight	0.2011 g	Outgas Temp	150.0 °C	File Name	AS977859.RAW
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	PC SW Version	1.23
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3		
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	5				



Quantachrome Corporation  
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH2 3:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3830 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	123.4 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	05/29/2012 12:38
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977874.RAW
Station #	4	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	5.491E+02	m <sup>2</sup> /g
Single Point BET.....	5.513E+02	m <sup>2</sup> /g
Langmuir Surface Area.....	8.104E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method External Surface Area.....	1.922E+02	m <sup>2</sup> /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	3.569E+02	m <sup>2</sup> /g
DR Method Micro Pore Area.....	8.038E+02	m <sup>2</sup> /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.870E-01	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	2.857E-01	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	2.686E-01	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	2.701E-01	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width .....	6.560E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.560E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.352E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.528E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF  
Last Po Acquired 768.17 mm Hg  
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm<sup>3</sup> x kJ/mol



Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH2 3:1					
Description	Tias					
Comments						
Sample Weight	0.3830 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat	
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	123.4 min	
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/29/2012 12:38	
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977874.RAW	
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20	
Station #	4					

## MULTIPOINT BET

P/Po	Volume [cc/g] STP	1/(W((Po/P)-1))
4.6819e-02	157.0554	2.502E-01
7.5902e-02	164.6757	3.991E-01
9.7969e-02	168.3794	5.161E-01
1.5350e-01	173.7575	8.350E-01
2.0164e-01	176.6556	1.144E+00
2.5656e-01	179.2911	1.540E+00
2.9950e-01	180.8104	1.892E+00

Area = 5.491E+02 m<sup>2</sup>/g

Slope = 6.445E+00

Y - Intercept = -1.027E-01

Correlation Coefficient = 0.997202

C = -6.177E+01

Quantachrome Corporation  
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report  
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	KOH2 3:1				
Description	Tias				
Comments					
Sample Weight	0.3830 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	Jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	2.0 hrs	Analysis Time	123.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å <sup>2</sup> /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	05/29/2012 12:38
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977874.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	4				

