



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PRODUKSI KARBON AKTIF DARI BAMBU DENGAN  
AKTIVASI MENGGUNAKAN KALIUM HIDROKSIDA**

**SKRIPSI**

**MARIA S. MELANIA**

**0806333285**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PRODUKSI KARBON AKTIF DARI BAMBU DENGAN  
AKTIVASI MENGGUNAKAN KALIUM HIDROKSIDA**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**MARIA S. MELANIA**

**0806333285**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

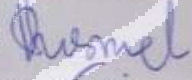
**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**DEPOK**

**JUNI 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 : Maria S. Melania  
NPM : 0806333285  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 9 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Maria S. Melania

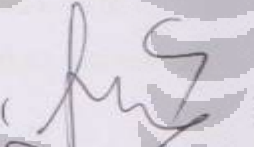
NPM : 0806333285


Program Studi : Teknik Kimia

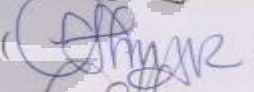
Judul Skripsi : Produksi Karbon Aktif dari Bambu dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida

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 1 : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. (  )

Penguji 2 : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng (  )

Penguji 3 : Elsa Krisanti Mulia, Ph.D (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : **9 Juli 2012**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus, karena atas rahmat dan bimbingan-Nya Penulis dapat menyelesaikan makalah ini. Makalah yang berjudul “Produksi Karbon Aktif dari Bambu dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida” dibuat untuk memenuhi tugas seminar. Makalah ini merupakan proposal penelitian yang diajukan untuk seminar. Adapun penelitian akan dilakukan pada semester terakhir untuk mata kuliah skripsi.

Pada penyusunan makalah skripsi ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ir. Mahmud Sudibandriyo M.Sc., PhD selaku pembimbing yang bersedia memberi arahan kepada penulis dalam menyelesaikan makalah ini. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- Keluarga penulis yang selalu memberi semangat dan dukungan;
- Dr. Ir Widodo W. Purwanto DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia;
- Ir. Yuliusman, M.Eng selaku kordinator skripsi Teknik Kimia FTUI;
- Dr. Ir. Nelson Saksono, M.T. selaku pembimbing akademis;
- Siti Tias, Febriyan Nizfa, Shofa, Lydia selaku rekan penelitian satu pembimbing yang banyak memberi dukungan dan informasi terkait;
- Serta kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa makalah ini masih belum sempurna, kritik dan saran yang membangun selalu penulis harapkan agar dapat menyempurnakan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Depok, 21Juni 2012

**Penulis**

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Maria S. Melania

NPM : 0806333285

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demikian 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 :

**Produksi Karbon Aktif dari Bambu dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida**

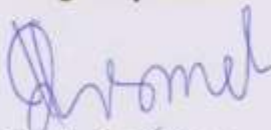
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 9 Juli 2012

Yang menyatakan



(Maria S. Melania)

## ABSTRAK

Nama : Maria S. Melania

Program studi : Teknik Kimia

Judul Program: Produksi Karbon Aktif Dari Bambu Dengan Aktivasi Menggunakan Kalium Hidroksida

Penelitian ini membahas produksi karbon aktif berbahan baku bambu dengan metode aktivasi menggunakan larutan KOH pada suasana gas nitrogen untuk mengontrol pembentukan pori karbon aktif. Aktivasi kimia dilakukan dengan rasio massa KOH : massa karbon yaitu 3:1 pada suhu 600°C, 700°C, dan 800°C selama 30 menit dan 60 menit. Sebagai pembandingan dilakukan aktivasi fisika tanpa penambahan *activating agent* pada suhu 700°C selama 60 menit. Luas permukaan paling tinggi sebesar 802,60 mg/g (sekitar 824,83 m<sup>2</sup>/g) diperoleh dari aktivasi kimia selama 30 menit pada suhu 800°C, sedangkan luas permukaan paling rendah sebesar 283,39 mg/g (sekitar 291,23 m<sup>2</sup>/g) diperoleh dari aktivasi fisika.

Kata kunci:

bambu, karbon aktif, aktivasi KOH, luas permukaan

## ABSTRACT

Name : Maria S. Melania  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Activated Carbon Production from Bamboo by Using Potassium Hydroxides Activation

This research is about production of activated carbon made from raw bamboo with activation method using KOH as *activating agent* in an atmosphere of nitrogen gas to control pores formed in the activated carbon. Chemical activation was done with mass ratio of activating agent : carbon is 3:1 on 600°C, 700°C, and 800°C for 30 minutes and 60 minutes, and physical activation was done without using activating agent on 700°C for 60 minutes. The highest surface area, 802,60 mg/g (about 824,83 m<sup>2</sup>/g), was obtained by KOH activation on 800°C for 30 minutes, and the lowest, 283,39 mg/g (about 291,23 m<sup>2</sup>/g), was obtained by physical activation.

Keywords:

bamboo, activated carbon, KOH activation, surface area



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>III</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>IV</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>V</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>XI</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>XII</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 LATAR BELAKANG .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 RUMUSAN MASALAH.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 TUJUAN PENELITIAN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 BATASAN MASALAH.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 ADSORPSI.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 <i>ADSORPTIVE STORAGE</i> .....	6
<b>2.2 KARBON AKTIF .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 <i>PROSES PRODUKSI KARBON AKTIF</i> .....	8
<b>2.3 BAMBUS SEBAGAI BAHAN BAKU KARBON AKTIF .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 BILANGAN IODIN .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 BRENAUER-EMMET-TELLER (BET).....</b>	<b>13</b>
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN .....</b>	<b>14</b>

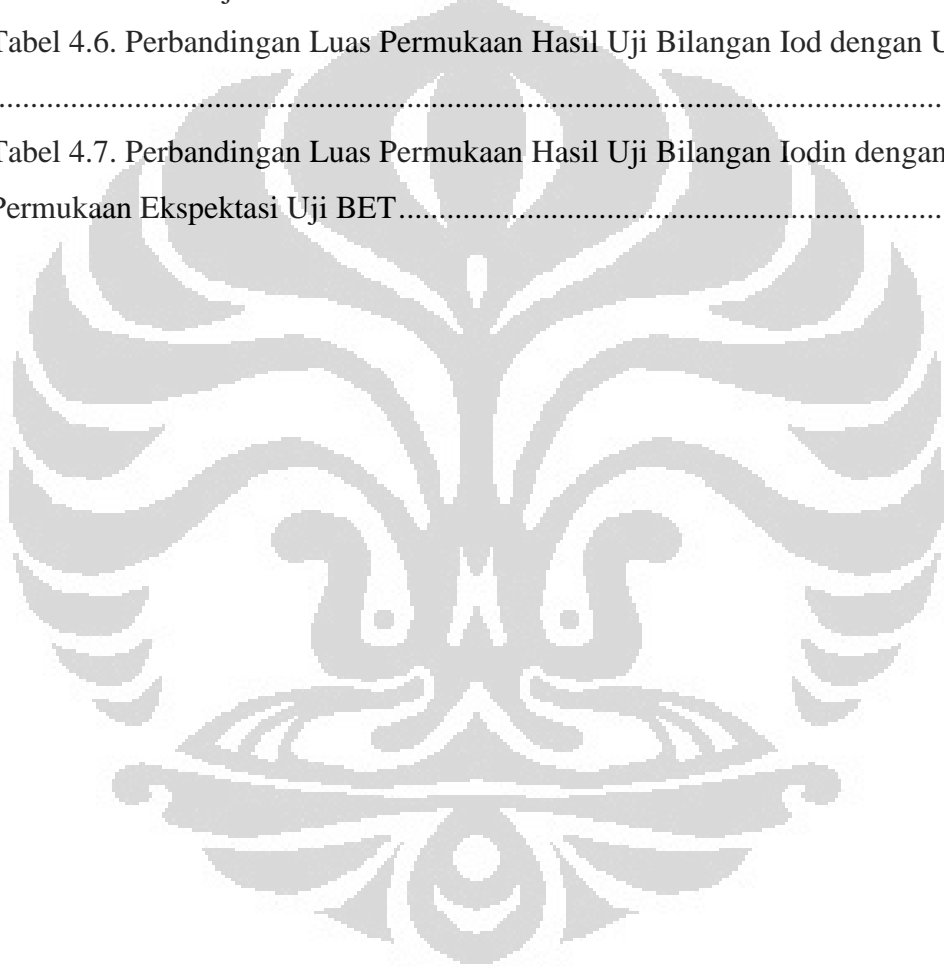
3.1.1	ALAT.....	14
3.1.2	BAHAN.....	14
<b>3.2</b>	<b>DIAGRAM PENELITIAN KESELURUHAN .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>PROSEDUR PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.3.1	KARBONISASI DAN AKTIVASI.....	16
3.3.2	PENDINGINAN .....	17
3.3.3	PENCUCIAN .....	17
3.3.4	PENGERINGAN.....	17
<b>3.4</b>	<b>VARIABEL PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
<b>3.5</b>	<b>TEKNIK PENGAMBILAN DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>18</b>
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>PRODUKSI KARBON AKTIF DARI BAMBU .....</b>	<b>19</b>
4.1.1	HASIL KARBONISASI BAMBU .....	19
4.1.2	HASIL PENCAMPURAN DENGAN <i>ACTIVATING AGENT</i> .....	25
4.1.3	HASIL PROSES AKTIVASI .....	29
4.1.4	PROSES PENCUCIAN DAN HASIL KARBON AKTIF SETELAH PENGERINGAN..	34
<b>4.2</b>	<b>ANALISIS LUAS PERMUKAAN.....</b>	<b>38</b>
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>SARAN .....</b>	<b>41</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>42</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>45</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Adsorptive Storage (Sontheimer, 1985).....	6
Gambar 2.2. Bambu Betung (Anonim, 2011).....	9
Gambar 2.3. Elemen-elemen yang terdapat dalam bambu (Choy et al., 2005) ....	10
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Keseluruhan .....	15
Gambar 3.2. Rangkaian Reaktor untuk Aktivasi (Sudibandriyo, 2011) .....	16
Gambar 4.1. Bambu yang Telah Diserut.....	20
Gambar 4.2. Perubahan kondisi bambu saat proses karbonisasi.....	22
Gambar 4.3. Proses Penghalusan Arang yang Telah Dikarbonisasi .....	24
Gambar 4.4. Proses Pelarutan <i>Slurry</i> .....	27
Gambar 4.5. <i>Slurry</i> Hasil Pencampuran Arang dan <i>Activating Agent</i> .....	29
Gambar 4.6. Reaktor untuk Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif.....	29
Gambar 4.7. Sampel yang Luber Selama Aktivasi .....	33
Gambar 4.8. Sampel Karbon Aktif yang Mengendap Setelah Pencucian dengan HCl .....	35
Gambar 4.9. Proses Penyaringan dengan Pompa Vakum.....	36
Gambar 4.10. Hasil Karbon Aktif.....	37
Gambar 4.11. Perbandingan Luas Permukaan pada Metode Aktivasi yang Divariasikan.....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu Pembuatan Karbon Aktif .....	11
Tabel 4.1. Yield Proses Karbonisasi Bambu.....	23
Tabel 4.2. Hasil Pencampuran Karbon Bambu dengan <i>Activating Agent</i> .....	28
Tabel 4.3. Persentase Kehilangan Sebelum dan Setelah Aktivasi .....	31
Tabel 4.4. Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan .....	37
Tabel 4.5. Hasil Uji Luas Permukaan .....	38
Tabel 4.6. Perbandingan Luas Permukaan Hasil Uji Bilangan Iod dengan Uji BET .....	38
Tabel 4.7. Perbandingan Luas Permukaan Hasil Uji Bilangan Iodin dengan Luas Permukaan Ekspektasi Uji BET.....	39



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Krisis energi yang sekarang sedang dialami Indonesia semakin meresahkan tidak hanya di kalangan industri besar melainkan juga industri rumah tangga, bahkan untuk pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari. Berbagai upaya dilakukan pemerintah untuk menangani masalah ini, dan solusi yang diutamakan tentunya rencana pengembangan energi alternatif. Berdasarkan *Blue Print* tahun 2005 mengenai kebijakan energi nasional, komposisi pemakaian energi ke depan akan semakin dominan ke jenis energi yang lebih ramah lingkungan serta jenis sumber energi baru dan terbarukan. Alternatif yang muncul sekarang ini, seperti energi nuklir dan energi panas bumi, sayangnya masih sekedar menjadi wacana karena terhambat faktor regulasi dan pro kontra di masyarakat.

Dikarenakan energi nuklir dan panas bumi yang belum bisa menjadi solusi dalam waktu dekat ini, alternatif lain yang diunggulkan adalah *Coalbed Methane* (CBM) karena potensinya yang besar, keunggulannya secara teknis, dan relatif lebih ramah lingkungan. Meskipun hidrogen adalah sumber energi yang dapat diregenerasi, dan metana dari CBM cukup banyak persediaannya di Indonesia (Steven, 2006), namun transportasi dan *storage* masih menjadi kendala dalam pemanfaatan sumber energi ini.

Salah satu cara yang sangat menjanjikan dalam teknologi *storage* gas adalah dengan metoda "*adsorptive storage*", dimana gas-gas tersebut disimpan dalam keadaan teradsorpsi pada satu "*adsorbent*" tertentu. Dalam keadaan teradsorpsi, densitas molekul dalam bentuk gas mendekati densitas dalam bentuk cairnya. Dengan demikian, secara teoritis dapat diperkirakan bahwa cara penyimpanan gas dengan metode ini dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan bahkan sampai dua kali lipat, dengan tekanan yang hanya 1/10 nya dan kemampuan yang masih bisa lebih ditingkatkan, tergantung jenis *adsorbent* dan luas permukaannya (Zhou, 1998).

Adsorpsi merupakan metode pemisahan suatu campuran dengan fasa fluida yang akan terserap pada permukaan *adsorbent* (Mc Cabe et al., 1999).

*Adsorbent* dapat dibuat dari berbagai jenis bahan, salah satunya karbon aktif. Karbon aktif merupakan adsorben yang biasa digunakan karena luas permukaan adsorpsi yang tinggi di antara *adsorbent* lainnya.

Bahan-bahan yang mengandung karbon dapat dijadikan sebagai bahan baku karbon aktif, seperti dari kayu keras, tempurung kelapa, batubara dan sintesis makromolekul (Elsevier, 2006). Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah bambu. Berasal dari keluarga *Poaceae (Gramineae)* dan sub-keluarga *Bambusoideae*, bambu adalah kelompok tanaman paling beragam dalam keluarga rumput dan paling cepat berkembang di planet ini. Karena bambu dapat dipanen dalam 2 sampai 3 tahun untuk tujuan tertentu yang telah ditentukan, tanaman ini tergolong sumber daya terbarukan. Bahan serba guna ini telah dikenal masyarakat dan digunakan selama ribuan tahun. Sebagai sumber daya murah dan cepat tumbuh dengan sifat fisik dan mekanik unggul dibandingkan dengan jenis kayu, bambu memiliki potensi besar sebagai alternatif.

Sifat kimia bambu penting dalam menentukan potensi penggunaannya. Beberapa studi telah menyelidiki sifat komposisi kimia, fisik dan mekanik bambu. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya memberikan informasi umum beberapa spesies bambu atau fokus hanya pada aspek dari satu spesies (Xiaobo Li, 2004). Bambu yang sudah dicobakan adalah bambu tali, bambu ater, bambu andong, dan bambu betung. Nilai kalor arangnya rata-rata 6602 kal/gr, dan yang paling baik dijadikan arang adalah bambu ater dimana sifat arang yang dihasilkan relatif sama dengan sifat arang dari kayu bakau (Ridwanti, 2002).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan bambu sebagai bahan baku, kemudian dicampur  $H_3PO_4$  dan  $ZnCl_2$  yang menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan sebesar  $1250 \text{ m}^2/\text{g}$  (Baksi, 2006). Penelitian lainnya tentang produksi karbon aktif dari batubara dengan *activating agent* KOH menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan  $1882 \text{ m}^2/\text{g}$  (Pujiyanto, 2010). Penelitian ini memadukan metode aktivasi terkontrol dengan larutan KOH pada suasana gas nitrogen, dan bambu sebagai bahan baku yang diharapkan dapat mengontrol terjadinya oksidasi karbon pada tahap aktivasi sehingga jumlah pori yang terbentuk di dalam karbon aktif dari bambu ini cukup banyak, maka akan menambah luas permukaannya. Dengan begitu, kapasitas penyimpanan akan

bertambah, bahkan hingga dua kali lipat. Bahan baku yang akan digunakan adalah bambu petung dengan variasi pada temperatur dan waktu aktivasinya. Pemilihan bambu dikarenakan pada dasarnya bambu telah memiliki struktur yang baik pada pori-porinya, yaitu adanya selulosa dan lignoselulosa.

Proses aktivasi pada penelitian ini harus dikontrol agar pori yang terbentuk lebih banyak, sehingga didapatkan karbon aktif dengan luas permukaan besar. Dengan terbentuknya pori yang lebih banyak, luas permukaan menjadi lebih besar dan begitu pula daya adsorpsinya (Sontheimer, 1985). Saat ini telah dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif dari bambu dengan *activating agent*  $H_3PO_4$  pada  $900-1100^\circ C$  dengan dialiri steam atau  $CO_2$  dan menghasilkan surface area rata-rata adalah  $1250\text{ m}^2/\text{g}$  (Baksi, 2003). Selain itu, penelitian pembuatan karbon aktif dengan *activating agent* KOH berbahan baku batubara *bituminous* Ombilin yang menghasilkan luas permukaan yang tinggi sebesar  $1882\text{ m}^2/\text{gram}$  juga telah dilakukan (Pujiyanto, 2010). Dari hasil penelitian tersebut maka KOH merupakan salah satu *activating agent* yang baik pada proses aktivasi pembuatan karbon aktif, dimana KOH dapat menjadi kandidat *activating agent* yang dapat menghasilkan karbon aktif tinggi atau karbon aktif super ( $> 3000\text{ m}^2/\text{g}$ ).

Penelitian ini pada akhirnya akan menghasilkan karbon aktif berbahan bambu dengan kualitas bersaing di antara karbon aktif berbahan baku lainnya, seperti tempurung kelapa, tongkol jagung, dan masih banyak lagi. Produksi dengan bahan baku terbarukan dan mudah didapat di Indonesia menyebabkan hasil penelitian ini menjadi kompetitif sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk dijadikan media transportasi dan *storage*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Produksi karbon aktif yang berkualitas untuk nantinya dikembangkan dalam berbagai fungsi, dan memiliki luas permukaan cukup besar untuk dijadikan media penyimpanan. Selanjutnya membuat produk dengan bahan baku yang terbarukan dan mudah didapatkan di Indonesia.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan karbon aktif dari bahan alami yang mengandung karbon tinggi di Indonesia, yakni bambu, dengan aktivasi terkontrol yang mampu menghasilkan luas permukaan yang tinggi. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh metode aktivasi, suhu aktivasi kimiawi, dan lama waktu aktivasi kimiawi terhadap luas permukaan yang dihasilkan karbon aktif.

### 1.4 Batasan Masalah

Berikut ini adalah penjabaran ruang lingkup penelitian ini:

- a. Menggunakan larutan KOH 65 % sebagai *activating agent* untuk metode aktivasi kimia.
- b. Menggunakan metode pirolisis (tanpa O<sub>2</sub>) untuk metode pemanasan.
- c. Variabel terikat penelitian ini adalah luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan.
- d. Variabel bebas penelitian ini adalah suhu aktivasi kimia dan lama waktu aktivasi kimia.
- e. Gas inert yang dipakai untuk atmosfer proses aktivasi adalah N<sub>2</sub>.

### 1.5 Sistematika Penulisan

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

#### BAB 1 PENDAHULUAN

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

#### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan mengenai adsorpsi, produksi karbon aktif, bambu, dan resume penelusuran jurnal penelitian.



### BAB 3 METODE PENELITIAN

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

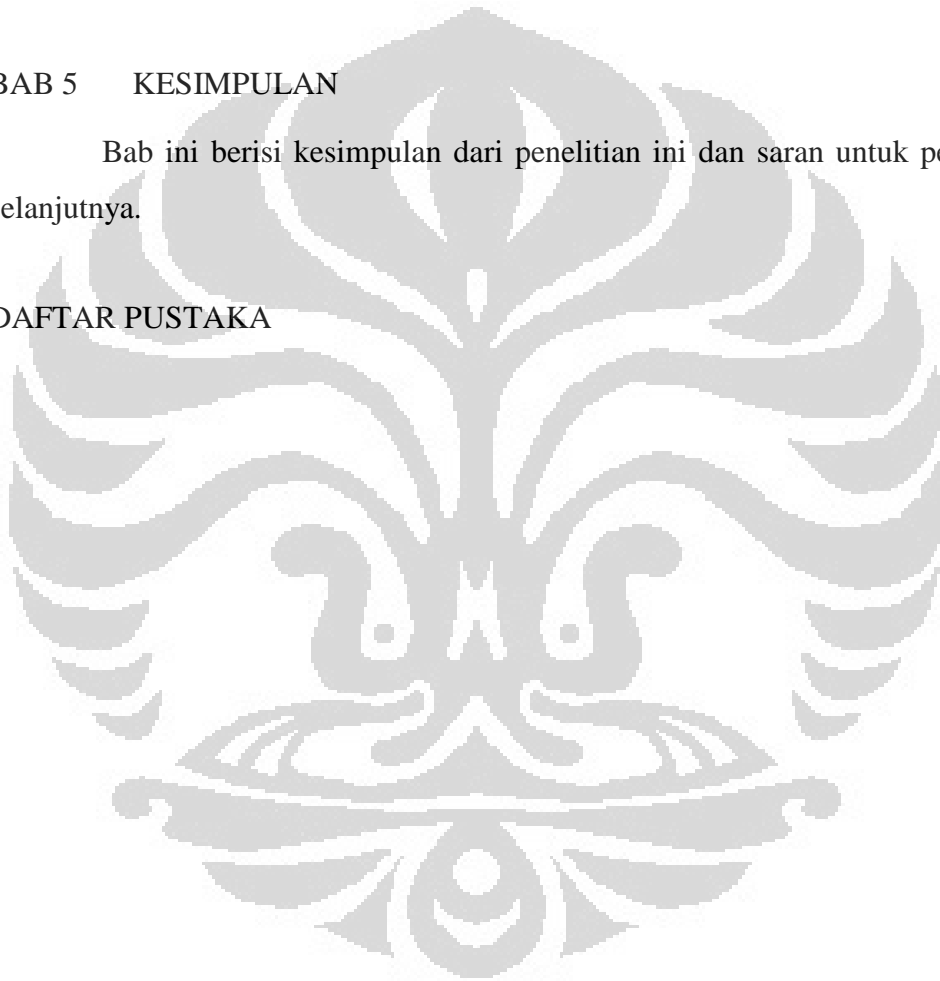
### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi gambar dan data pengamatan serta analisis percobaan dan hasilnya, dalam ini luas permukaan karbon aktif.

### BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian ini dan saran untuk penelitian selanjutnya.

### DAFTAR PUSTAKA



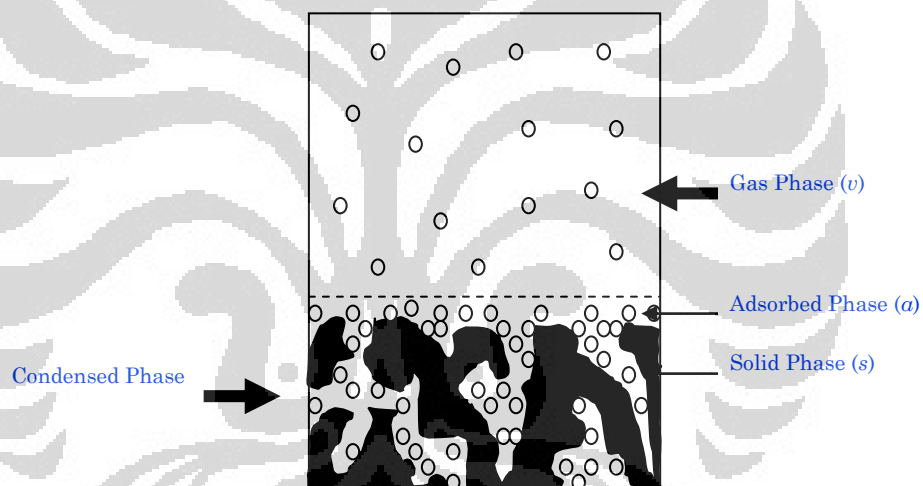
## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya. Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben.

#### 2.1.1 *Adsorptive Storage*

Penggunaan adsorben sebagai media penyimpanan gas dapat diilustrasikan sebagaimana Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Adsorptive Storage (Sontheimer, 1985)

Gas yang tersimpan di dalam *adsorptive storage* terdiri dari gas yang terkondensasi membentuk fasa teradsorpsi dan gas bebas. Suatu *storage* dengan kapasitas 1 liter, misalnya, dapat diisi penuh dengan adsorben seperti karbon aktif. Jika densitas terukur karbon aktif adalah  $2,2 \text{ g/cm}^3$ , maka dalam 1 liter *storage* tersebut bisa diisi dengan karbon aktif sebanyak kurang lebih 500 gram, dimana 0,227 liter akan terisi oleh kerangka atom karbon (padat) dan 0,773 liter rongga. Tergantung dari tekanan adsorpsi, jumlah gas yang teradsorpsi ini jauh lebih banyak dibandingkan dengan gas yang menempati ruang kosong. Untuk kasus hidrogen pada 2 MPa, secara teoritis, jumlah gas teradsorpsi bisa mencapai lima

kali jumlah gas yang menempati rongga, dengan demikian kapasitas *storage* bisa enam kali lipat dibandingkan dengan penyimpanan tanpa adsorpsi pada tekanan dan temperatur yang sama.

Jumlah gas yang teradsorpsi bagaimanapun tergantung dari jenis adsorben yang dipakai, semakin besar luas permukaan karbon aktif yang digunakan, maka semakin banyak jumlah gas yang bisa teradsorpsi per satuan berat adsorben yang sama. Oleh karena itu penelitian yang didedikasikan untuk mendapatkan karbon aktif dengan luas permukaan yang besar masih terus berkembang sampai saat ini. Secara umum, perkembangan pembuatan karbon aktif dengan cara ini akan dibahas di subbab berikutnya.

## 2.2 Karbon Aktif

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. (Walas 1990). Karbon aktif yang baik haruslah memiliki luas area permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar (Sudibandriyo *et al*, 2003).

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon. Yang biasa dipakai sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain batu bara, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, *petrol coke*, limbah pinus, dan kayu. Perubahan bahan dasar juga mempunyai efek terhadap kapasitas adsorpsi dan kinetik dari karbon aktif. Bahan dasar yang digunakan memberikan pengaruh terhadap struktur permukaan besar dari karbon aktif. Karbon aktif yang berbahan dasar dari kayu mempunyai struktur pori-pori besar yang jauh lebih teratur dibandingkan karbon aktif berbahan dasar batu bara. Ada 3 kriteria bahan dasar yang dapat dibuat sebagai karbon aktif, yaitu:

- bahan dasar harus mengandung karbon
- pengotor pada bahan dasar harus dijaga seminimal mungkin
- bahan dasar harus mempunyai kualitas yang konstan

### 2.2.1 Proses Produksi Karbon Aktif

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahap yaitu dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi.

#### a. Dehidrasi

Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven.

#### b. Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses pembakaran material organik pada bahan baku. Karbonisasi akan menyebabkan terjadinya dekomposisi bahan dan pengeluaran pengotor, seperti tar dan methanol. Sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap ini. Pelepasan unsur-unsur yang volatil ini membuat pori-pori bahan terbuka.

#### c. Aktivasi

Proses aktivasi, baik aktivasi kimia maupun aktivasi fisika, perlu dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan dan daya adsorpsi karbon aktif. Salah satu metode aktivasi yang digunakan untuk bahan baku mengandung lignoselulosa adalah aktivasi kimia. Pada aktivasi ini, karbon dicampur dengan larutan kimia yang berperan sebagai *activating agent* yang akan mengoksidasi karbon dan merusak permukaan bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Larutan kimia yang biasanya dipakai sebagai *activating agent* adalah garam dari logam alkali misalnya KOH (kalium hidroksida). KOH akan bereaksi dengan karbon sehingga akan membentuk pori-pori baru serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi ke permukaan karbon (Pujiyanto, 2010). Pori-pori yang terbentuk akan menghasilkan karbon aktif. KOH juga mencegah pembentukan tar, asam asetat, metanol, dan lain lain (Atmayudha, 2006).

## 2.3 Bambu sebagai Bahan Baku Karbon Aktif

Dalam kehidupan masyarakat pedesaan di Indonesia, bambu memegang peranan sangat penting. Bambu seperti pada Gambar 2.2 dikenal oleh masyarakat

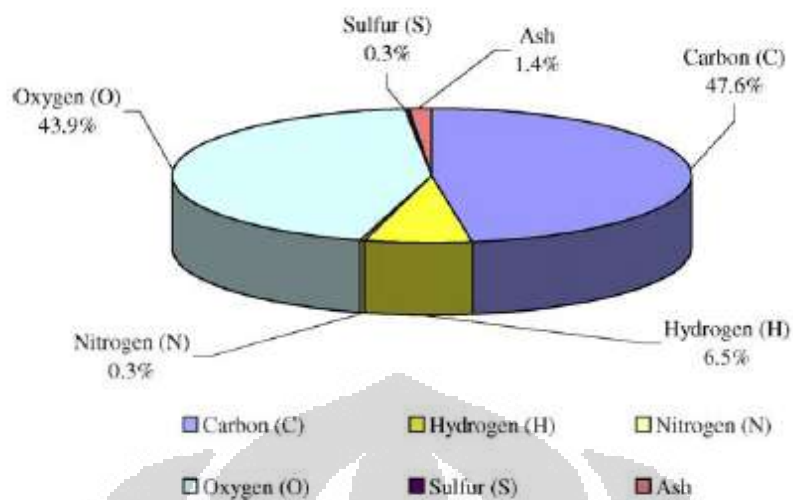
memiliki sifat-sifat yang baik untuk dimanfaatkan, antara lain batangnya kuat, ulet, lurus, rata, keras, mudah dibelah, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan serta ringan sehingga mudah diangkut. Selain itu bambu juga relatif murah karena banyak ditemukan di sekitar pemukiman pedesaan. Bambu menjadi tanaman 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 2.2. 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 2.3 elemen yang terdapat pada bambu.



Gambar 2.3. 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 kimia sudah banyak dilakukan, beberapa dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu Pembuatan Karbon Aktif

No	Nama jurnal	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, surface area 2193 m <sup>2</sup> /g Hasil terendah dengan CO <sub>2</sub> , surface area 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 <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> dengan rentang suhu 600-900 °C serta dialirkan gas N <sub>2</sub>	Hasil terbaik didapatkan pada perbandingan 2:1, waktu aktivasi 4 jam, suhu 600 °C dengan luas permukaan 2123 m <sup>2</sup> /g
7	<i>Effects of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and KOH in carbonization of lignocellulosic material</i> (Jibril, 2008)	Pembuatan karbon aktif dari <i>date palm stem</i> menggunakan H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> dan KOH pada rentang suhu 400-600 °C selama 2 jam dengan dialirkan gas N <sub>2</sub> 250 ml/menit	Hasil terbaik didapatkan untuk H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> pada suhu 500 °C dengan surface area 1100 m <sup>2</sup> /g dan untuk KOH pada suhu 600 °C dengan surface area 947 m <sup>2</sup> /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 <sub>2</sub>	Hasil terbaik didapatkan pada waktu aktivasi selama 3 jam dengan surface area 1532,8 m <sup>2</sup> /g
---	--	---	--

Penelitian ini menggunakan bambu betung yang kadar karbonnya tinggi yakni sekitar 47,6% dan metode aktivasi terkontrol dengan mengalirkan gas N<sub>2</sub> agar tidak terdapat oksigen yang dapat menyebabkan pembakaran karbon serta ditambahkan *activating agent*.

#### 2.4 Bilangan Iodin

Adsorpsi iodin telah banyak dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Penetapan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam menyerap larutan berwarna dan berbau dengan diameter pori lebih dari 10 Angstrom, akan tetapi uji adsorpsi iodin lebih dominan untuk mengetahui daya serap karbon aktif terhadap bau.

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 dan 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.

Iodin yang merupakan senyawa yang sedikit larut dalam air dengan kelarutan molar dalam air 0,00134 mol/liter pada suhu 25 °C merupakan senyawa nonpolar. Iodin (I<sub>2</sub>) yang 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<sub>2</sub> tersusun atas dua atom yang sama dengan keelektronegatifan yang sama sehingga arah momen ikatannya saling meniadakan dan momen dipolnya nol. I<sub>2</sub> yang bersifat nonpolar yang momen ikatannya saling meniadakan membuat momen dipolnya nol. Hal ini dapat dikaitkan dengan karakterisasi karbon aktif dengan mengukur kemampuan



adsorpsi terhadap larutan iodine sama dengan mengukur adsorptivitas karbon aktif terhadap senyawa nonpolar.

## 2.5 Brenauer-Emmet-Teller (BET)

Luas permukaan suatu adsorben dapat diketahui dengan alat pengukur luas permukaan yang menggunakan prinsip metode BET. Metode BET didasarkan pada penentuan volume molekul teradsorpsi secara fisika setebal satu lapis molekul monolayer pada permukaan adsorben. Berikut persamaan BET.

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

Persamaan 2-1

Keterangan:

C : Konstanta BET

$P_0$  : Tekanan uap jenuh gas yang diadsorpsi pada suhu eksperimen (kPa)

P : Tekanan total gas saat adsorpsi (kPa)

$V_m$  : Volume gas yang diadsorpsi untuk monolayer ( $\text{cm}^3$ )

V : Volume gas yang diadsorpsi pada tekanan P ( $\text{cm}^3$ )

Persamaan (1) hanya untuk  $P/P_0$  bernilai antara 0,05-0,3 dan  $V_m$  dapat ditentukan. Persamaan (1) dapat diplot secara linear, yaitu antara  $1/V((P/P_0)-1)$  dengan  $P/P_0$ , sehingga didapat persamaan dengan slope  $(C-1)/V_m C$  dan intersep  $1/V_m C$ . Dari ini, akan didapat nilai  $V_m$ . Untuk mendapatkan luas permukaan adsorben, digunakan persamaan berikut.

$$S_g = \frac{V_m N A_{cs}}{2240 W}$$

Persamaan 2-2

Keterangan:

N : Bilangan Avogadro =  $6.022 \times 10^{23}$

$A_{cs}$  : Luas penampang satu molekul adsorbat ( $\text{m}^2$ )

W : Berat sampel (gram)

$S_g$  : Luas permukaan adsorben/berat adsorben ( $\text{m}^2/\text{gram}$ )

## BAB 3

### 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

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

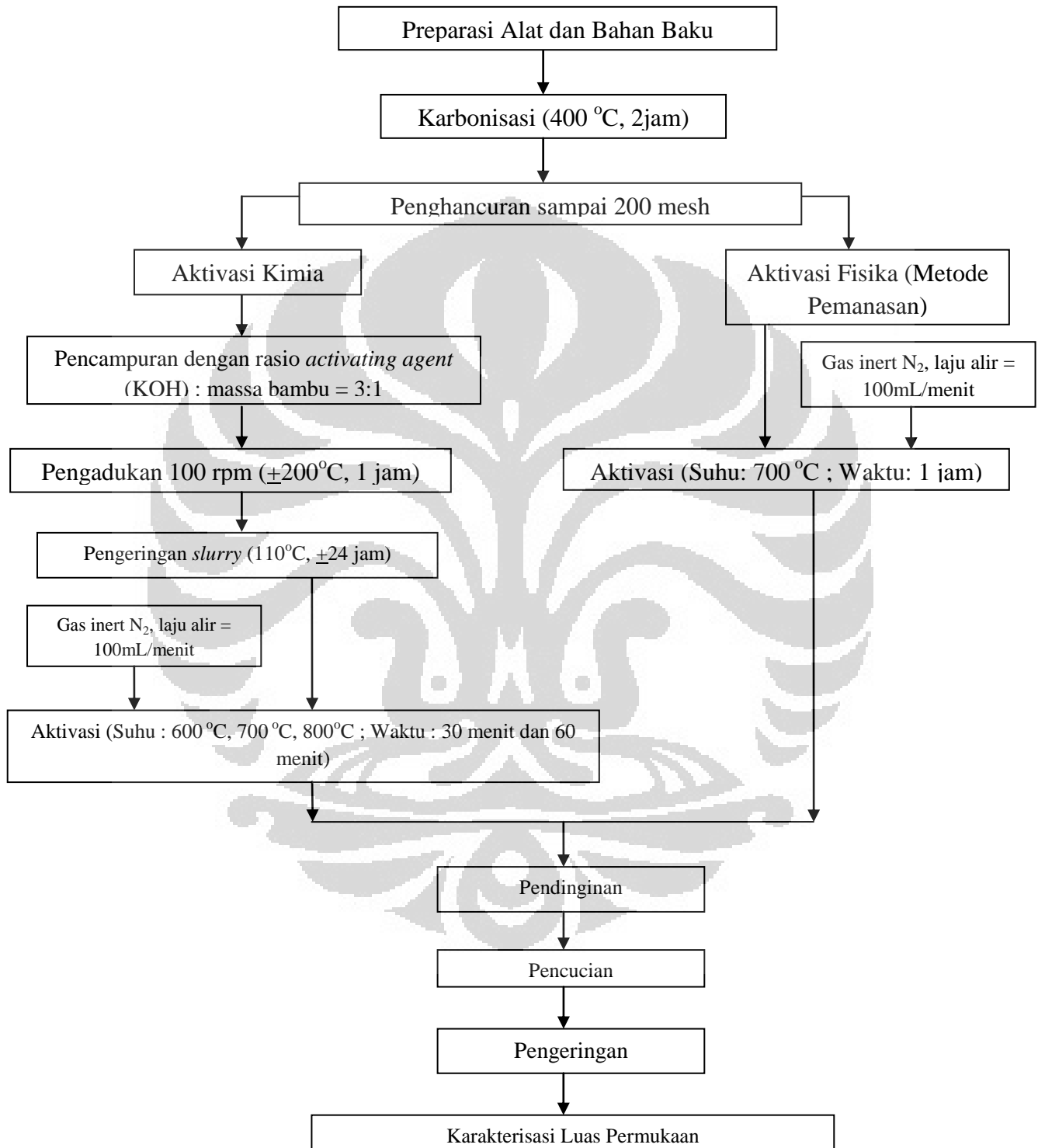
- Furnace
- Penggiling (Milling)
- Penyaring mesh no.40
- Reaktor
- Pengaduk (*Stirrer*)
- Beaker glass
- Timbangan
- Cawan porselen
- Pengaduk kaca
- Mortar

##### 3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Bambu betung
- Larutan KOH 65% berat sebagai *activating agent*
- HCl 5N
- Air distilasi
- Gas nitrogen berfungsi mengontrol proses aktivasi

### 3.2 Diagram Penelitian Keseluruhan

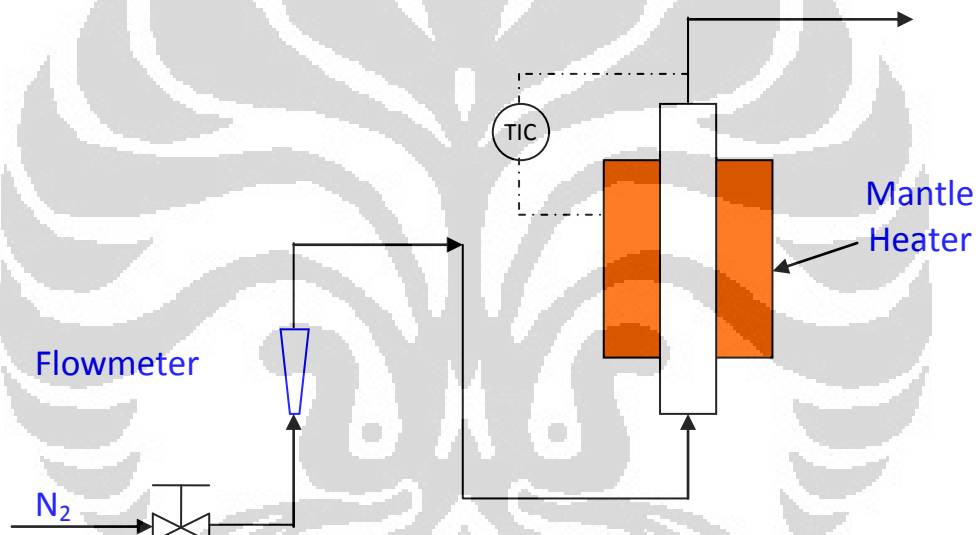


Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Keseluruhan

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Karbonisasi dan Aktivasi

Pada tahap karbonisasi, maka bambu harus dibuat sampai berupa potongan kecil yang kemudian di furnace pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  selama dua jam. Setelah proses karbonisasi, hasil karbon bambu tersebut diaktivasi. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *activating agent*, maka proses ini dibagi menjadi dua, yakni aktivasi kimia (dengan *activating agent*) serta aktivasi fisika (tanpa *activating agent*), yaitu metode pemanasan/tanpa penambahan *activating agent*. Rangkaian reaktor untuk aktivasi dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rangkaian Reaktor untuk Aktivasi (Sudibandriyo, 2011)

Pada aktivasi kimia, serbuk karbon dicampur dengan *activating agent* berupa KOH 65% berat dengan rasio massa KOH : massa karbon adalah 3:1. Reaktor harus diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan tidak ada oksigen dalam reaktor sebelum digunakan. Campuran ini kemudian dimasukkan dalam reaktor. Kemudian pada reaktor dialirkan gas nitrogen dengan pengontrolan laju alir sebesar 100 mL/menit. Lalu campuran karbon dan KOH dipanaskan sehingga mencapai suhu proses yang divariasikan yaitu  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $800^{\circ}\text{C}$ , dan  $900^{\circ}\text{C}$ . Pemanasan ini berlangsung selama waktu aktivasi yang divariasikan, yaitu 30

menit dan 60 menit. Pada metode pemanasan atau tanpa penambahan *activating agent*, serbuk karbon langsung dimasukkan dalam reaktor dan dialirkan gas nitrogen dengan pengontrolan laju alir sebesar 100 mL/menit. Kemudian dipanaskan sehingga mencapai suhu proses 700 °C selama 60 menit.

Setelah proses aktivasi selesai, maka akan dihasilkan produk berupa karbon aktif. Karbon aktif ini perlu diberi treatment lagi agar karbon aktif yang didapatkan benar-benar murni.

### 3.3.2 Pendinginan

Setelah proses aktivasi dilakukan, sampel karbon aktif yang diperoleh didinginkan dengan tetap mengalirkan N<sub>2</sub>. Sampel tersebut masih terdapat di dalam reaktor dimana furnace dalam keadaan mati (Garcia-Garcia, 2002).

### 3.3.3 Pencucian

Setelah pendinginan sampel dilakukan, sampel dicuci lima kali dengan larutan HCl 5N. Kemudian dicuci lagi dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa-sisa kloridanya (Garcia-Garcia, 2002).

### 3.3.4 Pengeringan

Setelah dicuci, sampel dikeringkan pada suhu 110 °C selama 24 jam (Pujiyanto, 2010). Kemudian sampel karbon aktif yang diperoleh disimpan dalam desikator agar karbon aktif tetap kering.

## 3.4 Variabel Penelitian

Variabel yang terkait pada penelitian ini adalah adalah:

- Variabel bebas : suhu aktivasi, waktu aktivasi, dan sebagai pembanding yaitu karbon aktif dengan aktivasi fisika/tanpa *activating agent*
- Variabel terikat : luas permukaan karbon aktif
- Variabel terkontrol : suhu dan lama waktu karbonisasi serta rasio massa *activating agent*/massa karbon

### 3.5 Teknik Pengambilan dan Analisis Data

Karbon aktif dioven pada temperatur  $115^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam selanjutnya didinginkan dalam desikator. Karbon aktif ditimbang 0,5 gram dan dimasukkan dalam erlenmeyer berwarna gelap dan tertutup lalu ditambahkan 50 mL larutan iodin 0,1 N. Erlenmeyer distirer selama 15 menit pada suhu kamar, kemudian dipindahkan ke dalam tabung sentrifugal dan diputar sampai sampel turun dan cairannya menjadi bening. Pipet 10 ml cairan tersebut dan dititrasikan dengan larutan tiosulfat 0,1 N. Jika warna kuning dari larutan samar kemudian menambahkan larutan kanji 1% sebagai indikator. Titrasikan kembali dengan teratur sampai mendapatkan titik akhir bila warna biru larutan telah hilang. Peralatan yang digunakan:

- Oven
- Sentrifugal separator
- Tabung sentrifugal
- Erlenmeyer
- Buret
- Pipet 20 ml
- Pipet 50 ml
- Pipet 10 ml
- Labu ukur 1000 ml

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi uraian tentang hasil penelitian produksi karbon aktif dari bambu dengan aktivasi menggunakan kalium hidroksida beserta analisisnya. Penelitian ini diharapkan menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan tinggi setelah melewati proses aktivasi yang dikontrol. Analisis pada bab ini menekankan pada pengaruh metode aktivasi, suhu aktivasi dan lama waktu aktivasi kimiawi terhadap luas permukaan yang dihasilkan karbon aktif. Karakterisasi dilakukan dengan uji bilangan iod pada sampel karbon aktif yang dihasilkan.

#### **4.1 Produksi Karbon Aktif dari Bambu**

Pembuatan karbon aktif dimulai dengan melakukan preparasi bahan dasar karbon aktif yaitu karbon yang berasal dari bambu petung. Bambu diproses menjadi karbon melalui proses karbonisasi dengan metode pembakaran selama selang waktu tertentu hingga bambu terbentuk menjadi arang. Proses ini bertujuan untuk memudahkan tahap selanjutnya, yaitu aktivasi. Pada proses aktivasi, sampel karbon dicampurkan dengan larutan KOH sebagai *activating agent* agar karbon terimpregnasi. Hasil impregnasi kemudian diaktivasi di dalam reaktor suhu tinggi untuk mendapatkan sampel karbon aktif.

##### **4.1.1 Hasil Karbonisasi Bambu**

Tahap pertama dari penelitian ini adalah karbonisasi bahan baku, yaitu bambu petung, untuk mendapatkan arang yang nantinya akan diaktivasi. Proses karbonisasi ini dilakukan dengan memasak bambu dengan api sedang selama kurang lebih 1 jam di kompor gas atau 2 jam di kompor listrik. Perbedaan selang waktu ini diakibatkan oleh besar kecilnya api yang dihasilkan kompor. Bambu yang digunakan sebaiknya dipastikan sudah sedikit mengandung air sehingga tidak perlu proses dehidrasi. Dehidrasi adalah proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan tujuan untuk menyempurnakan proses karbonisasi dan dilakukan dengan cara menjemur bahan

baku di bawah sinar matahari atau memanaskannya dalam oven. Berdasarkan penelitian untuk menguji sifat mekanika bambu menurut ISO 22157 (2004), kadar air bambu yang harus dihilangkan berkisar  $\pm 12\%$  (Mustafa, 2010).

Sebelum masuk dalam tahap karbonisasi, bambu terlebih dulu diserut untuk memudahkan pembakarannya. Dengan ukuran yang lebih kecil dan tipis, bambu akan terbakar merata dan jumlah arang yang terbentuk lebih banyak. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran bambu, maka semakin besar luas bambu yang terkena kontak dengan panas pada proses karbonisasi. Bambu yang belum dihaluskan dan telah dihaluskan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Bambu yang Telah Diserut

Karbonisasi adalah proses pembakaran material organik pada bahan baku yang akan menyebabkan terjadinya dekomposisi bahan dan pengeluaran pengotor. Sebagian besar unsur non-karbon akan hilang pada tahap ini sehingga diharapkan proses aktivasi akan berjalan lebih optimal. Pelepasan unsur-unsur yang volatil ini membuat pori-pori bambu terbuka dan tahapan ini terjadi pada proses karbonisasi. Asap yang timbul selama proses pembakaran dapat menjadi indikator senyawa volatil yang terkandung dalam bambu yang dibakar sedang menguap. Proses karbonisasi selesai ketika bambu yang dibakar berubah warna menjadi hitam dan menjadi arang atau berbentuk padatan. Perubahan kondisi bambu saat proses karbonisasi dapat dilihat pada Gambar 4.2.





(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2. Perubahan kondisi bambu saat proses karbonisasi

Sebelum karbonisasi dilakukan, bambu yang telah diserut ditimbang terlebih dahulu, dan setelah proses karbonisasi karbon yang didapatkan ditimbang kembali sehingga didapatkan yield karbonnya. Yield proses karbonisasi dari bambu dapat dilihat pada Tabel 4.1. Data yield karbon yang dipaparkan merupakan persentasi dari perbandingan antara massa arang, yang merupakan hasil karbonisasi, dan massa serutan bambu. Sementara itu, data persentasi yang hilang merupakan perbandingan antara massa bambu yang hilang, massa serutan bambu dikurangi massa arang hasil proses karbonisasi, dan massa serutan bambu, yang merupakan massa awal sebelum karbonisasi.

Tabel 4.1. Yield Proses Karbonisasi Bambu

Massa serutan bambu (gram)	Massa arang (gram)	Bambu yang hilang (gram)	Persentasi yang hilang	Yield karbon
30	9,96	20,04	66,80%	33,20%
25	7,05	17,95	71,80%	28,20%
25	7,30	17,70	70,80%	29,20%
25	9,01	15,99	63,96%	36,04%
25	9,03	15,97	63,88%	36,12%
26	9,00	17,00	65,38%	34,62%
26	9,04	16,96	65,23%	34,77%
26	6,90	19,10	73,46%	26,54%
30	10,50	19,50	65,00%	35,00%
30	11,20	18,80	62,67%	37,33%
25	9,54	15,46	61,84%	38,16%
25	8,41	16,59	66,36%	33,64%
30	13,23	16,77	55,90%	44,10%
30	13,31	16,69	55,63%	44,37%
30	9,45	20,55	68,50%	31,50%
30	10,30	19,70	65,67%	34,33%
25	9,45	15,55	62,20%	37,80%
25	8,20	16,80	67,20%	32,80%
30	10,20	19,80	66,00%	34,00%
30	11,02	18,98	63,27%	36,73%
25	9,20	15,80	63,20%	36,80%
25	7,98	17,02	68,08%	31,92%
30	10,04	19,96	66,53%	33,47%

Data massa bambu sebelum proses karbonisasi dan massa arang yang terbentuk setelahnya seperti ditunjukkan pada tabel di atas menunjukkan hasil rata-rata yield proses karbonisasi ialah sebesar 34,81%. Dengan kata lain, massa arang yang dihasilkan berkisar di rentang 34,81% dari massa awal bambu yang digunakan selama karbonisasi. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa hampir seluruh senyawa yang mudah menguap dalam bambu telah hilang. Jika dibandingkan dengan ampas tebu yang yield karbonisasinya 24,07% (Lidya, 2012), hasil proses karbonisasi bambu ini lebih baik karena yieldnya lebih besar.

Arang yang dihasilkan dari bambu setelah proses karbonisasi kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar hingga ukurannya menjadi lebih kecil. Untuk memastikan ukuran arang yang dihaluskan sudah cukup digunakan

penyaring yang berdiameter 0,125 mm atau sekitar 200 mesh. Ukuran partikel ini akan mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan nantinya.



(a)



(b)

Gambar 4.3. Proses Penghalusan Arang yang Telah Dikarbonisasi

Melalui penyaringan terlebih dahulu didapatkan ukuran partikel karbon yang seragam dan lebih kecil. Tujuan dari proses pengayakan dengan ukuran

mesh yang homogen adalah untuk memperoleh ukuran partikel karbon yang seragam sehingga pada proses aktivasi semua karbon dapat teraktivasi dan dapat diketahui kemampuan adsorpsinya. Pada prinsipnya semakin besar ukuran mesh karbon, maka ukuran partikel karbon semakin kecil dan mengakibatkan luas permukaan semakin besar dan semakin banyak situs aktifnya, sehingga kemampuan adsorpsi karbon sebagai adsorben semakin besar (Yudi, 2011). Ukuran yang lebih kecil akan memperluas area permukaan karbon, sehingga diharapkan pori-pori yang terbentuk semakin banyak pada saat proses aktivasi. Jika pori-pori sampel yang terbentuk semakin banyak, luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan semakin besar. Namun, ukuran partikel karbon ini juga tidak boleh terlalu kecil karena jika ukurannya terlalu kecil dikhawatirkan karbon akan terbakar habis pada saat proses aktivasi nantinya. Gambar 4.3 menunjukkan hasil arang yang telah dihaluskan.

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

Setelah proses karbonisasi, arang dari bambu tersebut kemudian diaktivasi. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *activating agent*, maka proses ini dibagi menjadi dua, yakni aktivasi kimia (dengan *activating agent*) serta aktivasi fisika (tanpa *activating agent*), yaitu metode pemanasan/tanpa penambahan *activating agent*. Aktivasi kimia memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan aktivasi fisika, yaitu yield karbon aktif yang dihasilkan lebih tinggi dan pori-pori yang terbentuk lebih banyak dan lebih terkontrol. Dengan demikian, proses aktivasi kimia diharapkan dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi sesuai dengan tujuan penelitian. Aktivasi kimia berfungsi untuk mendegradasi dan penghidrasi molekul organik, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu mengeluarkan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi (Manocha, 2003). Pada aktivasi kimia, arang berupa serbuk dicampur dengan *activating agent* berupa KOH 65% berat dengan rasio massa KOH/massa karbon adalah 3/1. Sementara itu, arang dari bambu yang telah dihaluskan turut diaktivasi secara fisika dengan tujuan sebagai pembanding dengan karbon aktif yang dibuat dengan

aktivasi kimia. Berbeda halnya dengan proses aktivasi kimia, arang tidak perlu dicampur dengan *activating agent* dan dapat langsung diaktivasi dalam reaktor. Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan proses pemanasan dan aliran gas. Tujuan dari proses aktivasi fisika adalah membuat volume pori lebih tinggi, memperluas diameter pori yang terbentuk selama proses karbonisasi dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru (Swiatkowski, 1998). Reaktor harus diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan tidak ada oksigen dalam reaktor sebelum digunakan.

Pada penelitian ini ingin diketahui pengaruh dari variasi waktu dan suhu proses aktivasi arang bambu. Oleh karena itu, campuran arang bambu dan KOH dipanaskan sehingga mencapai suhu proses yang divariasikan yaitu 600°C, 700°C, dan 800°C. Suhu yang tinggi pada saat proses aktivasi bertujuan untuk mempercepat dan memaksimalkan proses interaksi antara karbon aktif dengan zat aktivator di mana energi panas yang diberikan akan memperbesar energi kinetik zat aktivator untuk berdifusi ke pori sampel karbon (Yudi, 2011). Pemanasan ini berlangsung selama waktu aktivasi yang divariasikan, yaitu 30 menit dan 60 menit. Pada metode aktivasi fisika atau tanpa penambahan *activating agent*, serbuk karbon langsung dimasukkan dalam reaktor dan dialirkan gas nitrogen dengan pengontrolan laju alir sebesar 100 mL/menit. Arang kemudian dipanaskan pada suhu proses 700°C selama 1 jam. 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>. Larutan kimia yang dipakai pada penelitian ini sebagai *activating agent* adalah senyawa garam dari logam alkali, yaitu KOH (kalium hidroksida). KOH akan bereaksi dengan karbon sehingga akan membentuk pori-pori baru serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi ke permukaan karbon (Pujiyanto, 2010). Pori-pori yang terbentuk akan menghasilkan karbon aktif. KOH juga mencegah pembentukan tar, asam asetat, metanol, dan lain lain (Atmayudha, 2006). Faktor lain yang turut mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan antara lain variasi dari *activating agent* yang digunakan, lama proses aktivasi, dan jumlahnya yang

biasa dikatkan dengan perbandingan antara massa *activating agent* dan massa sampel karbon.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan, pembuatan karbon aktif dengan menggunakan KOH sebagai *activating agent*, dengan bahan baku baik yang berasal dari batu bara, residu minyak bumi ataupun material lignoselulosa, menghasilkan luas permukaan yang tinggi (Teng, 1999; Garcia, 2002; Marin, 2005; Kawano, 2007). Pada penelitian ini, KOH ditimbang sesuai dengan perbandingan massa *activating agent* dengan massa karbon yang digunakan, yaitu sebesar 3:1 (Teng, 1999; Marin, 2005). KOH yang digunakan berupa padatan sehingga untuk mencampurkannya dengan serbuk arang dari bambu diperlukan pelarutan KOH padat dalam *aquadest* terlebih dahulu sampai didapatkan larutan sebanyak 200 ml. Setelah itu, larutan tersebut dicampurkan dengan serbuk arang dari bambu yang telah ditimbang sebelumnya. Campuran ini kemudian diaduk dan dipanaskan pada suhu 200°C selama 2 jam sampai campuran tersebut menjadi *slurry*.



Gambar 4.4. Proses Pelarutan *Slurry*

Pelarutan pada suhu 200°C ini dilakukan agar terjadi impregnasi karbon dengan *activating agent* sekaligus menghilangkan air yang terkandung pada campuran sehingga *activating agent* tersebut dapat bereaksi baik dengan karbon

dan membuat proses aktivasi berjalan optimal sehingga menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi. Massa dari arang ampas tebu dan massa larutan activating agent ditimbang sebelum pencampuran dan setelah dilakukan pencampuran (slurry) berikut perhitungannya pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pencampuran Karbon Bambu dengan *Activating Agent*

Suhu	Waktu (menit)	Massa karbon (gram)	Massa KOH (gram)	Massa karbon + larutan KOH (gram)	Massa slurry yang terbentuk (gram)	% Air yang menguap
600 °C	30	20,01	60,00	206,00	100,88	48,97%
	60	20,02	60,02	245,04	105,11	42,90%
700 °C	30	20,02	60,03	220,00	100,39	45,63%
	60	20,01	60,03	220,02	107,06	48,66%
800 °C	30	20,02	60,00	210,00	99,67	47,46%
	60	20,01	60,04	285,00	80,66	28,30%

Tabel 4.2. menunjukkan bahwa air yang terkandung dalam larutan *activating agent* belum sepenuhnya menguap, sehingga campuran yang terbentuk berupa slurry dengan kandungan air yang masih cukup banyak. KOH yang bersifat menarik air atau higroskopis menyebabkan larutannya masih berbentuk slurry. Hal ini tidak menjadi masalah untuk penelitian ini karena suhu yang digunakan pada proses aktivasi, yaitu 600°C, 700°C, 800°C terbilang tinggi dengan kenaikan suhu secara bertahap membuat air yang terkandung menguap sepenuhnya pada saat proses aktivasi. Sampel karbon hasil pencampuran arang dengan activating agent dapat dilihat pada Gambar 4.5.

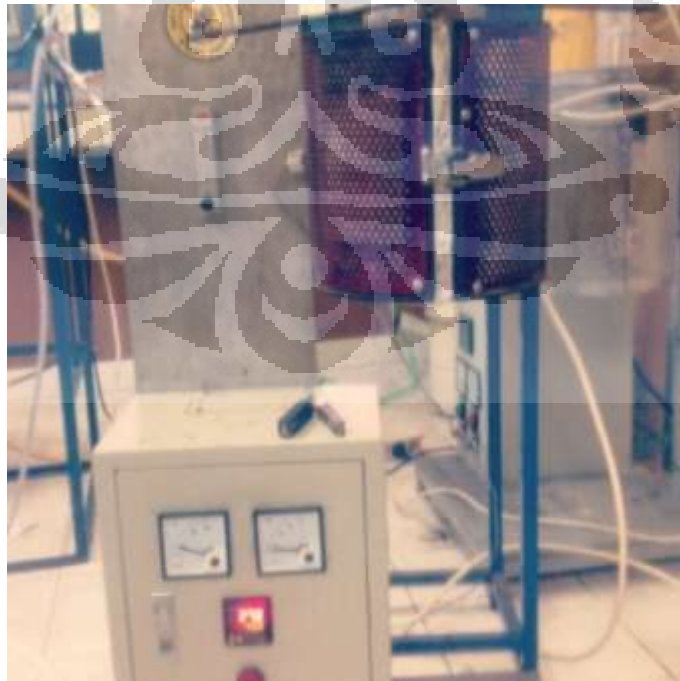




Gambar 4.5. *Slurry* Hasil Pencampuran Arang dan *Activating Agent*

#### 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. Gambar 4.6 menunjukkan reaktor yang digunakan pada proses aktivasi.



Gambar 4.6. Reaktor untuk Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif diaktivasi dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen bebas yaitu dengan dialirkan gas  $N_2$  ke dalam *tube* kuarsa selama proses aktivasi. Dengan tidak adanya oksigen bebas diharapkan tidak terjadi kerusakan struktur pori-pori bahan baku dimana akan mengakibatkan terjadi hilangnya bahan baku pada hasil akhir karbon aktif. 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.

Variasi yang digunakan selama aktivasi merupakan hal yang paling penting pada proses ini. 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  $700^\circ C$  (Hsu and Teng, 2000). Penelitian ini membuat variasi pada suhu dan waktu pada proses aktivasi, yaitu pada suhu  $600^\circ C$ ,  $700^\circ C$ , dan  $800^\circ C$  selama 30 menit dan 60 menit. Jumlah dan struktur pori-pori yang terbentuk bergantung pada suhu dan lama aktivasi yang digunakan karena kedua hal tersebut berpengaruh pada kerja *activating agent* yang digunakan. *Activating agent* memiliki rentang suhu tertentu untuk dapat bereaksi dengan karbon sehingga membentuk pori-pori. Jika suhu yang digunakan tidak berada pada rentang suhu tersebut dapat dipastikan bahwa *activating agent* tidak bereaksi optimum dengan karbon saat proses aktivasi.

Lama waktu aktivasi juga mempengaruhi luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan nantinya, tidak boleh dibuat terlalu singkat ataupun terlalu lama. Jika waktu aktivasi terlalu singkat, aktivasi karbon mungkin belum mencapai kondisi optimum. Jika waktu aktivasi terlalu lama, sampel karbon habis bereaksi atau yang biasa dikatakan kehabisan bahan baku. Oleh karena itu, waktu aktivasi yang pada umumnya digunakan ialah minimal 30 menit dan maksimal 2 jam. Untuk menghindari habisnya karbon dari bambu saat proses aktivasi, penelitian ini memvariasikan waktu aktivasi selama 30 menit dan 60 menit.

Hasil pengamatan pada proses aktivasi kimia menunjukkan penggunaan *activating agent* pada suhu dan lama waktu aktivasi yang divariasikan tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Pada proses aktivasi fisika tidak timbul banyak asap putih karena pada proses ini hanya dimasukan sampel arang dari karbonisasi bambu tanpa tambahan apapun. 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. Perubahan massa sebelum aktivasi dan setelah aktivasi dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Persentase Kehilangan Sebelum dan Setelah Aktivasi

Aktivasi	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Massa karbon (gram)	Massa yang masuk reaktor (gram)	Massa yang keluar reaktor (gram)	% Kehilangan
Kimia	600	30	20,01	100,88	54,89	54,41%
		60	20,02	105,11	43,92	41,78%
	700	30	20,02	100,39	40,13	39,97%
		60	20,01	107,06	47,70	44,55%
	800	30	20,02	99,67	56,14	56,33%
		60	20,01	80,66	44,61	55,31%
Fisika	700	60	20,01	12,16	60,77%	

Jumlah massa yang hilang pada tabel di atas didapat dari perhitungan massa yang masuk reaktor, yaitu campuran arang dan *activating agent*, dikurangi massa yang keluar reaktor. Massa yang hilang ini merupakan penggambaran dari kondisi reaksi antara karbon dengan *activating agent*. Semakin besar jumlahnya, maka intensitas reaksi yang terjadi semakin tinggi atau reaksi yang terjadi antara *activating agent* dengan karbon semakin banyak. Semakin tinggi intensitas reaksinya, pori-pori yang terbentuk juga semakin banyak. Pori-pori yang terbentuk inilah yang nantinya menentukan luas permukaan dari karbon aktif. Namun, reaksi yang terjadi diharapkan tidak menghabiskan karbon yang ada. Jika reaksi yang terjadi terlalu banyak dan melewati batas optimum, besar

kemungkinan struktur pori yang terbentuk menjadi rusak. Hal tersebut dapat menyebabkan hasil karbon aktif memiliki luas permukaan yang rendah.

Massa yang berkurang pada proses aktivasi cukup banyak terlihat dari persentase kehilangan massa antara yang keluar dan masuk reaktor. Kehilangan massa ini disebabkan oleh adanya air yang digunakan sebagai pelarut activating agent dan senyawa-senyawa volatile yang kemungkinan masih ada dalam bahan baku yang menguap. Banyaknya massa yang keluar reaktor ini juga dipengaruhi oleh seberapa sempurna proses penguapan air pada saat pembentukan slurry campuran activating agent dan sampel karbon karena proses ini yang menentukan kadar air pada sampel yang masuk reaktor. Persentase kehilangan terbesar ada pada suhu 800°C karena jumlah senyawa yang menguap akan semakin banyak seiring kenaikan suhu. Bila persentase kehilangan terlalu besar dikhawatirkan terjadi reaksi yang berlebihan yang dapat merusak struktur pori karbon aktif. Jika struktur pori pada karbon aktif rusak (pori-pori menjadi terlalu besar), maka luas permukaan yang dihasilkan rendah.

Selain itu proses aktivasi ini juga menghilangkan beberapa atom karbon menjadi gas CO<sub>2</sub> yang ikut keluar. Hal ini dikarenakan proses pemanasan atau aktivasi karbon aktif (padatan campuran activating agent/bahan baku) ini merupakan aktivasi kimia yang melibatkan reaksi kimia didalamnya. Reaksi kimia yang terjadi adalah (Sudibandriyo & Mulyati 2008):



Karbon bereaksi dengan activating agent (KOH) pada saat proses aktivasi membentuk pori-pori baru (melubangi permukaan karbon) serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. Amorphous karbon yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya closed pore akan terbuka dan tercipta pori-pori yang baru (Sudibandriyo, 2003). Pori-pori yang terbentuk inilah yang memperbesar luas permukaan karbon aktif (Sontheimer, 1985). Peranan KOH adalah untuk

memperbanyak jumlah pori yang terbentuk dengan diameter yang dikontrol agar luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan tinggi. Aktivasi ini disebut dengan oksidasi terkendali karena pada proses ini diameter pori yang terbentuk dikontrol agar tidak terlalu besar karena semakin besar diameter pori karbon aktif, luas permukaannya menjadi kecil.

Reaksi pembentukan pori-pori ini berlangsung semakin intensif seiring dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu kenaikan suhu perlu dilakukan secara bertahap agar reaksi yang berlangsung dapat dikontrol sehingga sampel karbon dan activating agent di dalam reaktor tidak luber hingga bagian luar reaktor seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Sampel yang Luber Selama Aktivasi

Setelah proses aktivasi selesai maka dihasilkan produk berupa karbon aktif yang perlu diberi penanganan lebih lanjut agar karbon aktif yang didapatkan benar-benar murni.

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

Poses pencucian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapat karbon aktif yang lebih murni. Karbon yang telah diaktivasi pada penelitian ini kemudian dicuci dengan larutan HCL 5 N yang bertujuan untuk menghilangkan sisa – sisa ion  $\text{OH}^-$  yang masih terdapat pada hasil aktivasi. Jika tidak dicuci terlebih dahulu, sisa-sisa ion tersebut tersimpan dalam pori-pori karbon aktif yang dihasilkan dan menutup permukaan porinya. Hal ini akan berdampak pada saat proses pengukuran luas permukaan nantinya membuat hasil menjadi tidak valid.

Pertama-tama karbon aktif dicuci dengan HCl 5 N agar senyawa HCl menghilangkan hasil reaksi maupun sisa *activating agent* yang tersimpan dalam karbon aktif. Pada saat HCl dicampurkan ke dalam karbon aktif yang telah diaktivasi timbul gelembung-gelembung. Proses pencampuran dilakukan secara perlahan sembari sampel diaduk agar gelembungnya kempis. Gelembung yang timbul 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. Bila gelembung sudah tidak terbentuk lagi dapat dikatakan bahwa sisa-sisa ion  $\text{OH}^-$  maupun sisa *activating agent* sudah tidak ada lagi dalam karbon aktif.

Karena HCl merupakan asam kuat dan penelitian ini menggunakan HCl dengan konsentrasi tinggi, yaitu 5N, pencucian cukup dilakukan sebanyak satu kali. Ketika gelembung sudah tidak terbentuk lagi pada saat hasil aktivasi dicampurkan dengan HCl, sampel kemudian didiamkan dengan tujuan agar sampel tidak larut dengan HCl seperti dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Sampel Karbon Aktif yang Mengendap Setelah Pencucian dengan HCl

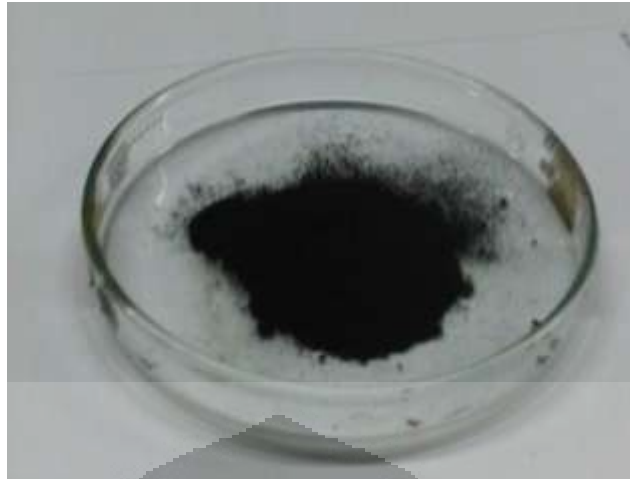
Hal yang dilakukan selanjutnya adalah mencuci karbon aktif dengan aquadest untuk menghilangkan HCl yang masih terdapat dalam karbon aktif (Garcia-Garcia, 2002). Pencucian dengan aquadest ini dilakukan berkali-kali sampai pH karbon aktif mendekati netral. Pencucian dan penyaringan sampel dilakukan dengan menggunakan pompa vakum untuk memastikan tidak ada sampel yang ikut terbuang selama pencucian dengan aquadest. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Proses Penyaringan dengan Pompa Vakum

Setelah didapat pH yang diinginkan, maka karbon aktif dikeringkan dalam oven untuk menguapkan air yang terkandung dalam sampel yang telah dicuci. 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. Karbon aktif yang sudah dicuci dan dikeringkan dapat dilihat pada Gambar 4.10.





Gambar 4.10. Hasil Karbon Aktif

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 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Proses Pencucian dan Pengeringan

Suhu	Waktu (menit)	Massa sebelum dicuci & dikeringkan (gram)	Massa karbon aktif (gram)	% Yield karbon aktif
600 °C	30	54,89	7,26	13,23%
	60	43,92	5,88	13,39%
700 °C	30	40,13	11,09	27,64%
	60	47,70	7,81	16,37%
800 °C	30	56,14	9,17	16,33%
	60	44,61	5,52	12,37%

## 4.2 Analisis Luas Permukaan

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh metode aktivasi, suhu aktivasi kimia, dan lama waktu aktivasi kimia terhadap luas permukaan yang dihasilkan karbon aktif. Oleh karena itu, luas permukaan karbon aktif sebagai adsorben merupakan parameter 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. Pada penelitian ini, luas permukaan dari karbon aktif diuji dengan menggunakan metode bilangan iodin seperti yang juga telah banyak dilakukan di penelitian lain. Hasil uji luas permukaan dengan metode bilangan iodin yang dilakukan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Uji Luas Permukaan

Suhu	Waktu Aktivasi	Bilangan Iodin (mg/g)
600 °C	30 menit	682,01
	60 menit	692,23
700 °C	30 menit	731,71
	60 menit	749,28
800 °C	30 menit	802,60
	60 menit	599,29

Sampel karbon aktif yang diaktivasi dengan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> pada suhu 700 °C diuji dengan metode BET dan bilangan iod menghasilkan suatu perbandingan seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perbandingan Luas Permukaan Hasil Uji Bilangan Iod dengan Uji BET

Bilangan Iodin (mg/g)	Hasil Uji BET (m <sup>2</sup> /g)
740,10	760,60

Rasio dari luas permukaan yang didapat adalah

$$\text{bilangan iod/luas BET} = 740,10/760,60 = 0,97$$

Hasil uji luas permukaan dengan metode bilangan iodin beserta hasil uji luas permukaan yang diperkirakan bila diuji dengan metode BET dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perbandingan Luas Permukaan Hasil Uji Bilangan Iodin dengan Luas Permukaan Ekspektasi Uji BET

Suhu	Waktu Aktivasi	Bilangan Iodin (mg/g)	BET ekspektasi (m <sup>2</sup> /g)
600 °C	30 menit	682,01	700,90
	60 menit	692,23	711,39
700 °C	30 menit	731,71	751,97
	60 menit	744,92	765,55
800 °C	30 menit	802,60	824,83
	60 menit	599,29	615,89

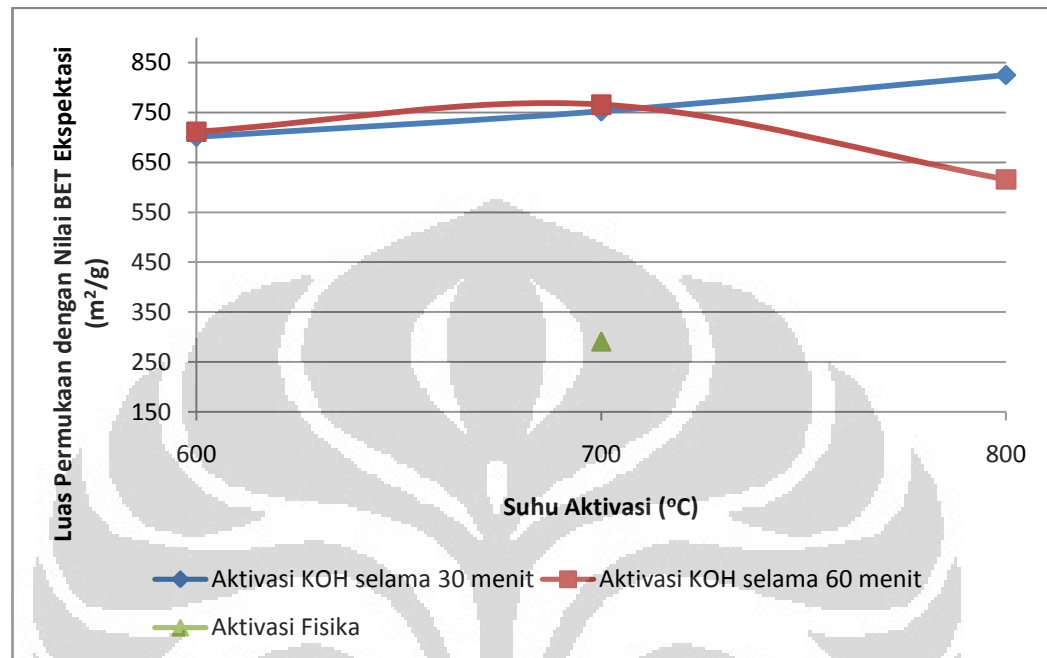
Pada suhu 600°C didapati luas permukaan yang diuji dengan lama waktu aktivasi 60 menit lebih tinggi dibandingkan 30 menit. Hal ini menunjukkan semakin lama sampel karbon diaktivasi dengan KOH pada suhu 600°C maka luas permukaan yang dihasilkan lebih besar, dan daya penyerapannya lebih tinggi.

Pada suhu 700°C didapati luas permukaan yang diuji dengan lama waktu aktivasi 60 menit lebih tinggi dibandingkan 30 menit. Hasil uji pada suhu 700°C menandakan adanya kemiripan dengan hasil uji pada suhu 600°C. Semakin lama sampel karbon diaktivasi dengan KOH pada suhu 700°C maka luas permukaan yang dihasilkan lebih besar, dan daya penyerapannya lebih tinggi.

Sementara pada suhu 800°C yang terjadi adalah sebaliknya, luas permukaan yang diuji pada waktu aktivasi 60 menit lebih rendah dibandingkan 30 menit. Sampel karbon yang diaktivasi selama 60 menit diperkirakan sudah habis terbakar pada suhu 800°C yang terbilang tinggi, sehingga karbon aktif yang dihasilkan dari proses aktivasi tersebut memiliki kualitas tidak seoptimal sampel karbon yang diaktivasi pada suhu 800 °C dengan waktu 30 menit.

Apabila ditinjau dari seluruh variabel yang diamati, suhu 600°C, 700°C, dan 800°C dengan variasi waktu aktivasi 30 menit dan 60 menit, maka disimpulkan bahwa kondisi optimal aktivasi karbon aktif dari bambu adalah pada suhu 800°C dengan waktu aktivasi selama 30 menit. Perbandingan luas

permukaan pada metode aktivasi kimia dengan KOH selama 30 menit, 60 menit, serta aktivasi fisika dapat dilihat pada Gambar 4.11. Nilai luas permukaan yang diplot merupakan nilai ekspektasi dari uji BET.



Gambar 4.11. Perbandingan Luas Permukaan pada Metode Aktivasi yang Divariasikan

## BAB 5 KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai produksi karbon aktif dari bambu dengan aktivasi kimia menggunakan KOH dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Luas permukaan karbon aktif dari bambu yang paling tinggi pada penelitian ini yaitu 802,60 mg/g (uji bilangan iod) atau 824,83 m<sup>2</sup>/g (uji BET).
2. Aktivasi kimia pada pembuatan karbon aktif dari bambu menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi, yaitu mencapai 824,83 m<sup>2</sup>/g jika dibandingkan dengan aktivasi fisika, yaitu sebesar 291,23 m<sup>2</sup>/g.
3. Reaksi antara *activating agent* dan sampel karbon semakin intensif seiring semakin tinggi suhu aktivasi dan semakin lama waktu aktivasinya membuat luas permukaan yang dihasilkan semakin tinggi.
4. Suhu 800°C dengan lama waktu aktivasi 30 menit merupakan kondisi optimum aktivasi karbon dari bambu karena luas permukaan yang dihasilkan paling tinggi, bahkan lebih tinggi dibanding dengan lama waktu aktivasi 60 menit pada suhu yang sama.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai produksi karbon aktif dari bambu dengan aktivasi kimia menggunakan KOH maka hal-hal yang perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan bahan baku bambu dengan jenis selain bambu petung, misalnya bambu ater, yang juga memiliki kandungan karbon tinggi.
2. Melakukan karakterisasi permukaan dengan metode lain, seperti metode SEM untuk melihat kondisi pori-pori karbon aktif, sehingga dapat melakukan identifikasi lebih lanjut terhadap hasil karbon aktif.

## 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
- 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://indonetnetwork.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
- Benefield, 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  $H_3PO_4$  and KOH in Carbonization of Lignocellulosic Material*. J Anal. Appl Pyrolysis (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  $K_2CO_3$  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  $ZnCl_2$* . Depok: Universitas Indonesia.
- 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 Teknk Gas dan Petrokimia FTUI.

- Pujiyanto. (2010). *Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa*. Skripsi, Depok, Departemen Teknik Kimia FTUI
- 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	0,52	10	7,4	0,2	295,46	283,39
	0,52	10	7,5	0,3	271,31	
600°C 30 menit	0,50	10	4,1	0,2	718,73	682,01
	0,51	10	4,5	0,3	645,30	
600°C 60 menit	0,51	10	4,0	0,4	692,23	692,23
	0,51	10	4,0	0,4	692,23	
700°C 30 menit	0,51	10	3,9	0,3	734,66	731,71
	0,51	10	4,0	0,3	729,20	
700°C 60 menit	0,51	10	3,7	0,3	751,18	744,92
	0,51	10	3,8	0,3	738,66	
800°C 30 menit	0,50	10	3,7	0,1	783,65	802,60
	0,50	10	3,3	0,2	821,56	
800°C 60 menit	0,51	10	5,5	0,2	536,87	599,29
	0,51	10	4,5	0,2	661,72	

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

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/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	H3PO4 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	AT140401.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				

Isotherm

P/Po	Volume [cc/g] STP
4.9164e-02	209.2863
7.5916e-02	219.9482
9.8328e-02	226.2950
1.5062e-01	236.2808
2.0209e-01	242.4418
2.4974e-01	246.5353
3.0271e-01	250.0274

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				

