

**PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR
TEMPURUNG KELAPA DENGAN PERLAKUAN
AKTIVASI TERKONTROL SERTA UJI KINERJANYA**

SKRIPSI

oleh

ARDHANA ATMAYUDHA

0403060116



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2006/2007**

**PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR
TEMPURUNG KELAPA DENGAN PERLAKUAN
AKTIVASI TERKONTROL SERTA UJI KINERJANYA**

SKRIPSI

oleh

ARDHANA ATMAYUDHA

0403060116



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2006/2007**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR TEMPURUNG KELAPA DENGAN PERLAKUAN AKTIVASI TERKONTROL SERTA UJI KINERJANYA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juni 2007

Ardhana Atmayudha

0403060116

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

**PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR
TEMPURUNG KELAPA DENGAN PERLAKUAN
AKTIVASI TERKONTROL SERTA UJI KINERJANYA**

oleh

ARDHANA ATMAYUDHA

0403060116

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi tanggal 11 Juni 2007 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juni 2007

Dosen Pembimbing

Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc, PhD

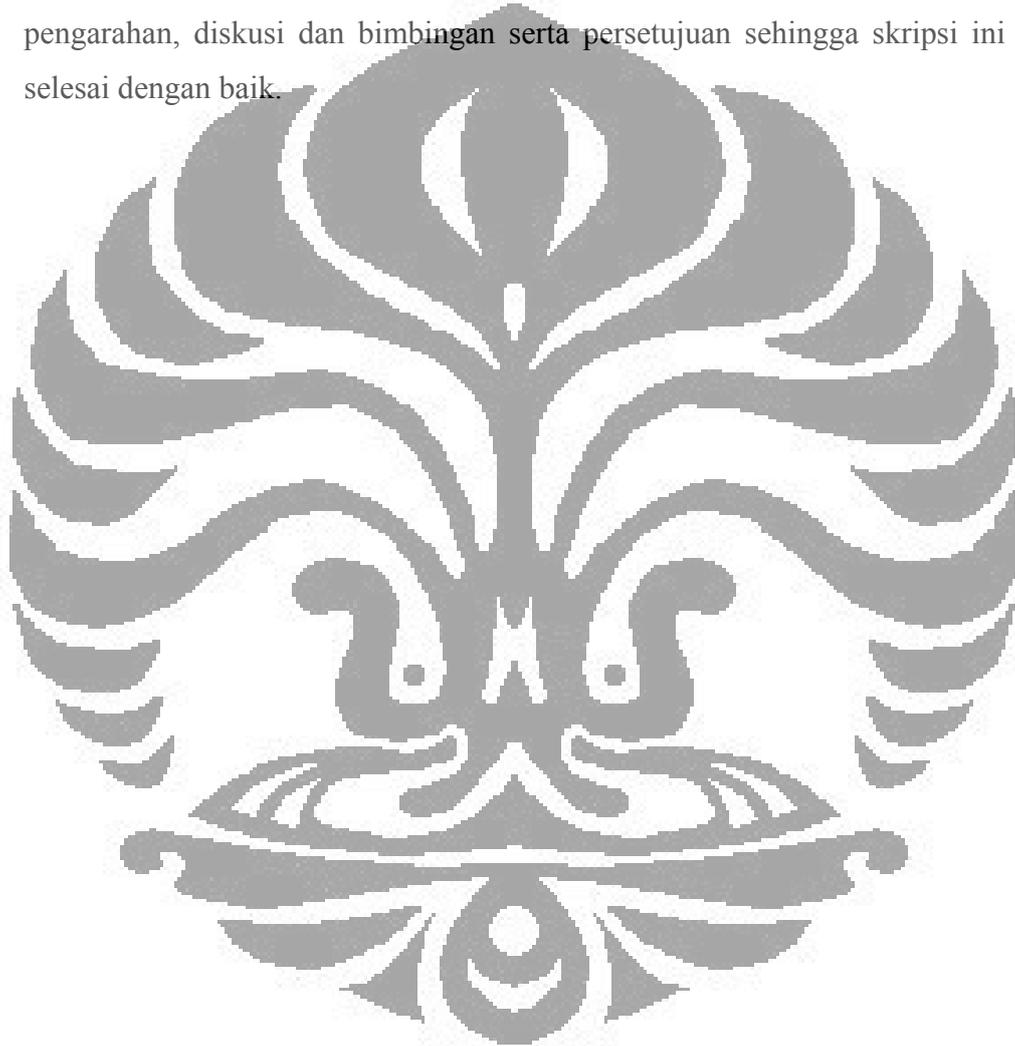
NIP. 131 803 524

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., PhD.

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



ABSTRAK

Ardhana Atmayudha

NPM 0403060116

Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing:

Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc,

PhD

PEMBUATAN KARBON AKTIF BERBAHAN DASAR TEMPURUNG KELAPA DENGAN PERLAKUAN AKTIVASI TERKONTROL SERTA UJI KINERJANYA

ABSTRAK

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben karena memiliki luas area permukaan dan daya adsorpsi yang lebih besar daripada adsorben lainnya. Semakin besar luas area permukaan, daya adsorpsi karbon aktif semakin baik. Karbon aktif dapat diproduksi dari berbagai macam bahan dasar yang mengandung karbon salah satunya tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan bahan dasar dengan kandungan karbon yang sangat besar serta kemudahan bahan dasar tersebut untuk didapatkan secara komersial. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan bahan dasar dari tempurung kelapa untuk pembuatan karbon aktif dengan perlakuan aktivasi terkontrol.

Dalam penelitian ini, digunakan perlakuan aktivasi terkontrol dimana pada proses ini dialirkan gas inert N_2 serta ditambahkan *activating agent* untuk mengontrol proses aktivasi. Pada penelitian sebelumnya, aktivasi terkontrol telah digunakan dengan bahan dasar limbah pinus. Pada penelitian ini, digunakan 2 variasi temperatur aktivasi, yaitu $500\text{ }^\circ\text{C}$ dan $600\text{ }^\circ\text{C}$. Sampel karbon aktif diuji luas permukaan dengan BET Autosorb dengan adsorbat Nitrogen. Selain itu, juga dilakukan uji daya adsorpsi karbon aktif terhadap adsorbat CO_2 dengan prinsip adsorpsi isoterms Gibbs.

Luas permukaan yang didapat dari hasil uji BET adalah $0\text{ m}^2/\text{grAC}$ untuk bahan dasar (tempurung kelapa), $300\text{ m}^2/\text{grAC}$ untuk sampel karbon aktif teraktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$, dan $111,9\text{ m}^2/\text{grAC}$ untuk sampel karbon aktif teraktivasi $600\text{ }^\circ\text{C}$. Namun, secara teori semakin besar temperatur aktivasi semakin banyak pori-pori yang terbentuk sehingga luas permukaan semakin besar. Pada uji daya adsorpsi, pada tekanan yang hampir sama (sekitar 550 psi) didapat adalah $4,26\text{ mmol}/\text{grAC}$ untuk karbon aktif dengan aktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$ dan $14,48\text{ mmol}/\text{grAC}$ untuk karbon aktif dengan aktivasi $600\text{ }^\circ\text{C}$. Dengan data dari uji daya adsorpsi, maka dapat disimpulkan bahwa luas permukaan dari karbon aktif dengan aktivasi $600\text{ }^\circ\text{C}$ lebih besar. Pada tekanan sekitar 702,63 psia, jumlah CO_2 yang teradsorpsi pada karbon aktif teraktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$ 1,47 kali lebih kecil dibandingkan jumlah CO_2 yang teradsorpsi pada penelitian sejenis dari literatur (Tomasko) sehingga kemungkinan luas permukaannya lebih kecil dari $850\text{ m}^2/\text{grAC}$. Pada tekanan sekitar 668,624 psia, jumlah CO_2 yang teradsorpsi pada karbon aktif teraktivasi $600\text{ }^\circ\text{C}$ 2,4 kali lebih besar dibandingkan jumlah CO_2 yang teradsorpsi pada penelitian sejenis dari literatur (Tomasko) sehingga kemungkinan luas permukaannya lebih besar dari $850\text{ m}^2/\text{grAC}$. Hal ini bertolak belakang dengan hasil dari uji BET. Uji BET dengan menggunakan adsorbat nitrogen kurang dapat merepresentasikan kapasitas adsorpsi yang sebenarnya.

Kata Kunci: Tempurung kelapa, Karbon Aktif, Adsorpsi, Adsorben

Ardhana Atmayudha
NPM 0403060116
Chemical Engineering Department

Counselor:
Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc,
PhD

**SYNTHESIS OF COCONUT SHELL BASED ACTIVATED CARBON
WITH CONTROLLED ACTIVATION TREATMENT
AND ITS PERFORMANCE TEST**

ABSTRACT

Adsorbent that mostly used in industry is activated carbon because its surface area and adsorption capacity are larger than other adsorbents. If the surface area of activated carbon is going to bigger, the adsorption capacity of activated carbon will be bigger too. Activated carbon can be produced from every raw material that contains carbon, e.g. coconut shell. Coconut shell is the raw material that contains so much carbon and is commercial. Because of that, in this research coconut shell was used to synthesize activated carbon with controlled activation treatment.

In controlled activation treatment, N_2 was flowed and activating agent was added. In previous research, controlled activation treatment had been used with pine waste as a raw material. In this research, the temperature of activation process was varied ($500\text{ }^\circ\text{C}$ and $600\text{ }^\circ\text{C}$). Then activated carbon samples had their surface area test with BET Autosorb with N_2 as an adsorbate. Besides, those samples were tested for the adsorption capacity with CO_2 as an adsorbate with Gibbs Isotherm Adsorption principal.

Surface area that obtained from BET test result was $0\text{ m}^2/\text{grAC}$ for raw material, $300\text{ m}^2/\text{grAC}$ for activated carbon with $500\text{ }^\circ\text{C}$ activation, and $111.9\text{ m}^2/\text{grAC}$ for activated carbon with $600\text{ }^\circ\text{C}$ activation. Otherwise, theory mentions that higher activation temperature resulting more pores formed and higher surface area. In pressure that almost be the same (around 550 psia), activated carbon with $500\text{ }^\circ\text{C}$ activation adsorbed $4.26\text{ mmol } CO_2/\text{grAC}$ and activated carbon with $600\text{ }^\circ\text{C}$ adsorbed $14.48\text{ mmol } CO_2/\text{grAC}$. So, surface area of activated carbon with $600\text{ }^\circ\text{C}$ activation is higher than activated carbon with $500\text{ }^\circ\text{C}$ activation. In 702.63 psia , activated carbon with $500\text{ }^\circ\text{C}$ can adsorb CO_2 1.47 times less than activated carbon used by Tomasko that given in the literature. It means that the surface area of activated carbon with $500\text{ }^\circ\text{C}$ activation may be less than $850\text{ m}^2/\text{grAC}$. In around 668.62 psia , CO_2 adsorbed in activated carbon with $600\text{ }^\circ\text{C}$ activation is 2.4 times higher than CO_2 adsorbed in activated carbon that used by Tomako. It means that activated carbon with $600\text{ }^\circ\text{C}$ activation may have surface area higher than $850\text{ m}^2/\text{grAC}$. Then, we can conclude that BET test with nitrogen as an adsorbate doesn't accurately represent the adsorption capacity.

Kata Kunci: Coconut Shell, Activated Carbon, Adsorption, Adsorbent

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 ADSORPSI	5
2.1.1 Jenis-Jenis Adsorpsi	6
2.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi	8
2.1.3 Keseimbangan Adsorpsi	9
2.1.3.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir.....	11
2.1.3.2 Adsorpsi Isotermis BET	12
2.1.3.3 Adsorpsi Isotermis Gibbs	12
2.1.4 Adsorben	15
2.2 KARBON AKTIF	17
2.2.1 Sejarah dan Perkembangan Karbon Aktif.....	19
2.2.2 Proses Produksi Karbon Aktif.....	20
2.2.3 Sifat Fisis Karbon Aktif	23
2.2.4 Struktur Kimia Karbon Aktif	24
2.2.5 Karbon Aktif Sebagai Adsorben	25

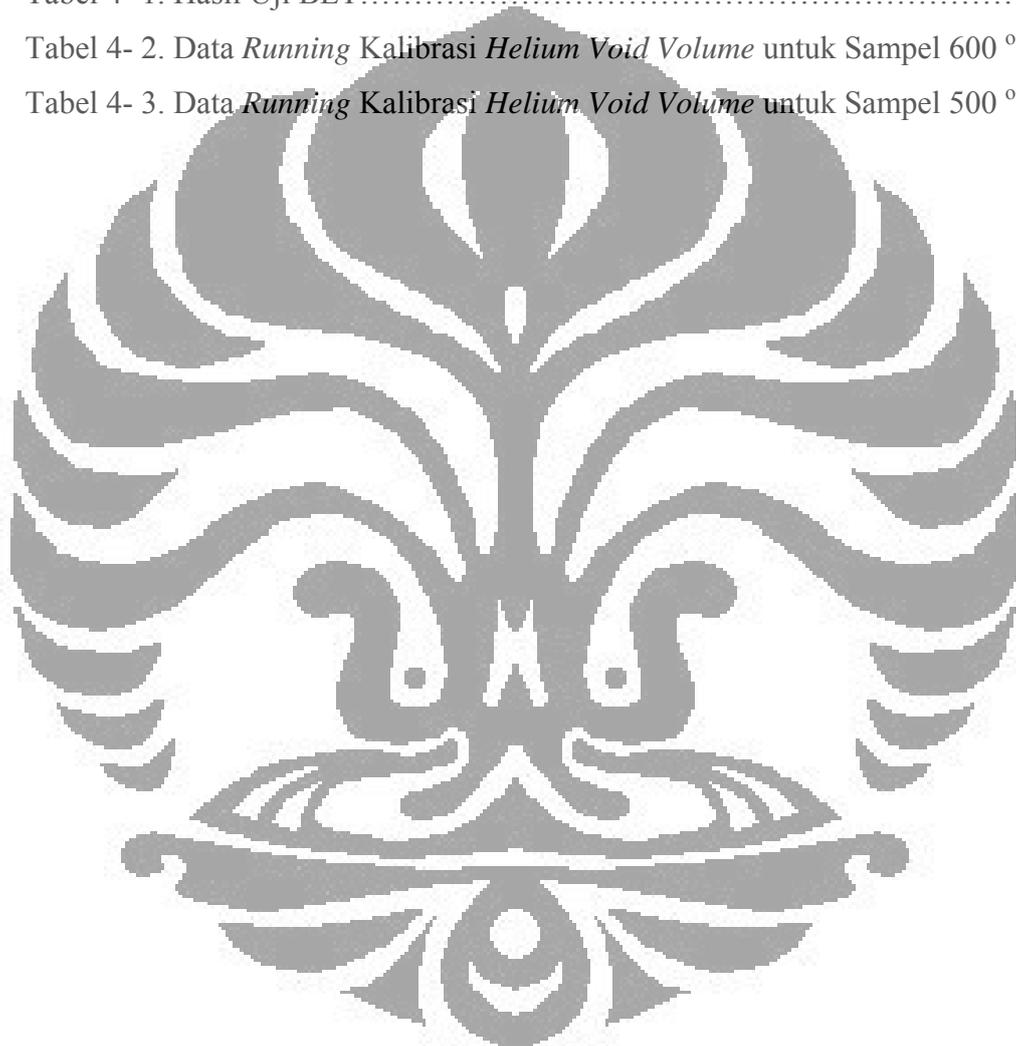
2.3 TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN DASAR KARBON AKTIF	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 ALUR PENELITIAN	27
3.2 PROSEDUR PENELITIAN.....	28
3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan Dasar	29
3.2.2 Karbonisasi dan Aktivasi	29
3.2.3 Pendinginan.....	30
3.2.4 Pencucian	30
3.2.5 Pengeringan Sampel.....	30
3.2.6 Analisis.....	31
3.2.6.1 Analisis Luas Area Permukaan Karbon Aktif.....	31
3.2.6.2 Analisis Daya Adsorpsi Karbon Aktif	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 HASIL PREPARASI.....	35
4.2 HASIL UJI BET	39
4.3 HASIL UJI DAYA ADSORPSI	40
4.3.1 Hasil Persiapan Peralatan Uji Adsorpsi	41
4.3.2 Hasil Kalibrasi Volume <i>Dozing Cylinder</i>	41
4.3.3 Hasil Kalibrasi <i>Void Volume</i>	42
4.3.4 Hasil Uji Daya Adsorpsi Karbon Aktif dengan Adsorbat CO ₂	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 KESIMPULAN	49
5.2 SARAN	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET	9
Gambar 2-2. Grafik Isoterm Langmuir	11
Gambar 2- 3. Grafik Adsorpsi Isotermis Gibbs	13
Gambar 2- 4. Kurva Adsorpsi Isotermis Gibbs.....	14
Gambar 2-5. Skema proses pembuatan karbon aktif	21
Gambar 2-6. Struktur Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Aktivasi	23
Gambar 2-7. Struktur Fisik Karbon Aktif.....	23
Gambar 2- 8. Struktur Kimia Permukaan Karbon Aktif.....	24
Gambar 3-1. Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3- 2. Skema Alat untuk Analisa Daya Adsorpsi Karbon Aktif.....	31
Gambar 4- 1. Bahan Dasar Tempurung Kelapa.....	35
Gambar 4- 2. Reaktor <i>Autoclave</i>	37
Gambar 4- 3. Sampel Karbon Aktif setelah Aktivasi	37
Gambar 4- 4. Sampel Akhir Karbon Aktif.....	38
Gambar 4- 5. Alat untuk Uji Daya Adsorpsi	41
Gambar 4- 6. CO ₂ Teradsorp pada 30 °C dengan Sampel Teraktivasi 500 °C.....	44
Gambar 4- 7. CO ₂ Teradsorp pada 30 °C dengan Sampel Teraktivasi 600 °C	45
Gambar 4- 8. Perbandingan Daya Adsorpsi CO ₂ Hasil Penelitian dengan Hasil Penelitian Tomasko	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia	7
Tabel 2-2. Tipe, Karakteristik, Kegunaan, Dan Kerugian Adsorben.....	16
Tabel 2-3. Fungsi dan Kegunaan Karbon Aktif.....	18
Tabel 4- 1. Hasil Uji BET.....	39
Tabel 4- 2. Data <i>Running Kalibrasi Helium Void Volume</i> untuk Sampel 600 °C. 42	
Tabel 4- 3. Data <i>Running Kalibrasi Helium Void Volume</i> untuk Sampel 500 °C. 43	





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Banyak sekali metode pemisahan yang bisa digunakan untuk memisahkan suatu campuran, salah satunya adalah adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu metode pemisahan suatu campuran yang berfasa fluida dimana gas tersebut akan terserap pada permukaan adsorben. (Mc Cabe et al., 1999). Adsorben yang dapat digunakan banyak sekali, salah satunya adalah karbon aktif. Karbon aktif merupakan adsorben yang paling sering digunakan saat ini karena daya adsorpsi dan luas area permukaannya paling baik di antara adsorben lainnya.

Karbon aktif bisa dibuat dari berbagai macam bahan selama bahan tersebut mengandung karbon, salah satunya adalah tempurung kelapa (Sontheimer, 1985). Tempurung kelapa mengandung material lignoselulosis. Tempurung kelapa terdiri dari 62% selulosa dan hemiselulosa yang merupakan polimer linear dari glukosa serta mengandung 35% lignin yang merupakan polimer 3 dimensi dari alkohol aromatik. Sementara itu sisa kandungan tempurung kelapa sebesar 3% merupakan zat intraselular. (McKay dan Roberts, 1982). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada tempurung kelapa banyak sekali terdapat atom karbon sehingga sangat bagus untuk dijadikan bahan dasar karbon aktif. Tempurung kelapa memiliki beberapa keuntungan untuk digunakan bahan dasar karbon aktif antara lain kemudahan bahan tersebut untuk didapatkan secara komersial sehingga sering disebutkan bahwa tempurung kelapa merupakan bahan dasar yang paling cocok untuk karbon aktif. (Farris et al., 1992). Supaya menghasilkan karbon aktif dengan kualitas lebih baik serta proses pembuatannya lebih ekonomis, maka tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan dasar harus yang sudah tua, keras, dan mempunyai kadar air rendah, sehingga dalam proses aktivasi, pematangannya akan berlangsung baik dan merata. Jika kadar air tinggi berarti kelapa belum cukup tua, berarti proses aktivasi akan berlangsung lebih lama. (www.warintek.net/arang_aktif.htm, 2003). Oleh karena itu, pada penelitian ini



akan digunakan karbon aktif dengan bahan dasar tempurung kelapa yang sudah tua untuk mendapatkan hasil karbon aktif dengan kualitas yang lebih baik serta proses pembuatan yang ekonomis.

Untuk mendapatkan karbon aktif dengan luas permukaan dan daya adsorpsi yang besar, maka proses aktivasi harus dikontrol supaya pori-pori yang terbentuk lebih banyak. Aktivasi terkontrol mengkondisikan bebas gas oksigen yang dapat membakar karbon dengan tidak terkontrol sehingga dialirkan gas nitrogen pada laju alir tertentu serta ditambahkan *activating reagent* KOH 65%. Saat ini sudah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode ini dengan bahan dasar dari arang limbah pinus dengan hasilnya berupa luas permukaan area 1908 m²/gram (Garcia-Garcia et al., 2002). Luas permukaan yang didapat tersebut jauh lebih besar daripada luas permukaan karbon aktif pada umumnya. Dengan terbentuknya pori-pori yang lebih banyak, maka luas permukaan akan menjadi lebih besar dan daya adsorpsinya juga akan besar (Sontheimer, 1985). Jika dengan bahan dasar arang limbah pinus dengan menggunakan metode ini bisa menghasilkan luas area permukaan yang sangat besar, maka dengan bahan dasar tempurung kelapa dengan metode perlakuan aktivasi terkontrol tersebut diharapkan juga bisa menghasilkan luas permukaan area yang sangat besar (lebih besar dari karbon aktif komersial).

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka dapat dirumuskan masalah untuk dilakukan penelitian:

- Bagaimana pengaruh aktivasi terkontrol terhadap luas area permukaan dan daya adsorpsi (kualitas) karbon aktif yang dihasilkan?
- Bagaimana pengaruh temperatur aktivasi yang digunakan pada penelitian ini terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan?
- Bagaimana pengaruh tekanan adsorpsi terhadap jumlah zat yang teradsorpsi?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:



- Membuat karbon aktif dengan bahan baku yang tersedia di alam (tempurung kelapa) dengan aktivasi terkontrol yang mampu menghasilkan kualitas karbon aktif yang baik.
- Menganalisa pengaruh temperatur proses aktivasi terhadap luas area permukaan dan daya adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan.
- Membandingkan luas area permukaan dan daya adsorpsi yang dihasilkan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.
- Menentukan kapasitas atau daya adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan dari penelitian terhadap adsorbat CO₂.
- Menentukan pengaruh tekanan adsorpsi terhadap jumlah adsorbat yang teradsorpsi.

1.4 BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pembatasan yang berupa pembatasan peralatan, komponen dan kondisi operasi keadaan seperti berikut:

- Menggunakan bahan dasar dari tempurung kelapa yang sudah tua.
- Menggunakan larutan KOH 65% sebagai *activating reagent*.
- Variabel terikat dalam penelitian ini adalah luas area permukaan serta daya adsorpsi dari karbon aktif yang dihasilkan
- Variabel bebas (yang divariasikan) dalam penelitian ini adalah temperatur proses aktivasi.
- Adsorbat yang digunakan adalah gas CO₂ untuk mengukur daya adsorpsi dari karbon aktif.
- Gas inert yang dipakai pada proses aktivasi adalah N₂.
- Adsorpsi yang digunakan adalah adsorpsi Gibbs monolayer.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Susunan penulisan akan mengacu pada sistematika sebagai berikut:

- Bab I PENDAHULUAN



Berisi latar belakang sebagai dasar penelitian dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

- **Bab II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi landasan teori umum yang digunakan untuk menjelaskan masalah yang dibahas.

- **Bab III METODE PENELITIAN**

Berisi tentang metode penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menjalankan penelitian untuk mencapai tujuan.

- **Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian serta analisa dari hasil penelitian tersebut.

- **Bab V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian sejenis di masa mendatang.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ADSORPSI

Adsorpsi termasuk dalam proses separasi dimana komponen-komponen tertentu dari suatu fasa fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (adsorben). Biasanya partikel-partikel kecil zat penyerap ditempatkan di dalam suatu hamparan tetap (*fixed bed*), dan fluida lalu dialirkan melalui hamparan tersebut sampai adsorben itu mendekati jenuh dan pemisahan yang dikehendaki tidak dapat lagi berlangsung. Aliran itu lalu dipindahkan ke hamparan kedua sampai adsorben jenuh tadi dapat diganti atau diregenerasi. (Mc Cabe et al., 1999). Adsorpsi biasanya dilakukan pada *fixed vertical beds* dari adsorben granular yang berpori (Walas, 1990).

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*. (Ding dan Bhatia, 2003). Daya serap zat/adsorben terhadap gas bergantung pada jenis adsorbat, karakteristik adsorben, temperatur, tekanan. 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, semakin banyak pula zat yang diserap. Dan sebaliknya, semakin tinggi temperatur untuk adsorpsi fisika, semakin sedikit jumlah zat yang terserap.

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 fase zat cair digunakan untuk memisahkan komponen-komponen organik dari limbah-limbah air, dan air dari zat cair organik. Adsorpsi juga dapat digunakan untuk memulihkan hasil-hasil reaksi yang tidak mudah dipisahkan dengan distilasi atau kristalisasi. Beberapa adsorben jenis yang sama dapat digunakan baik untuk adsorpsi fase uap maupun adsorpsi fase



cair. Namun, biasanya adsorben dengan pori-pori besar lebih disukai untuk penggunaan dengan zat cair. (Mc Cabe et al., 1999).

2.1.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua bagian, yaitu: (Treybal, 1980; Herawaty, 1993)

a. Adsorpsi Fisis

Adsorpsi fisis merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals yaitu gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisis, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisis adalah suatu peristiwa yang reversibel, sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat. Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip Le Chatelier. Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisis umumnya rendah ($5 - 10 \text{ kkal/grmol gas}$) dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisis reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisis terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur $150 - 200^{\circ}\text{C}$ selama 2 – 3 jam.

b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer. Untuk adsorpsi kimia, yang paling penting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer. Pendekatannya adalah



dengan menentukan kondisi reaksi, sehingga hanya adsorpsi kimia yang terjadi dan hanya terbentuk monolayer. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversible dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi (10 – 100 kkal/grmol). Sedangkan untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Energi aktivasi pada adsorpsi kimia berkisar antara 10 – 60 kkal/grmol.

Perbedaan antara adsorpsi kimia dan fisika dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2- 1. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia (Herawaty, 1993)

No.	Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
1.	Adsorben	Semua jenis	Terbatas
2.	Adsorbat	Semua gas	Kecuali gas mulia
3.	Jenis ikatan	Fisika	Kimia
4.	Panas adsorpsi	5-10 kkal/gmol gas	10-100 kkal/gmol gas
5.	Energi aktivasi	< 1 kkal/gmol	10-60 kkal/gmol
6.	Reversibilitas	<i>Reversible</i>	<i>Irreversible</i>
7.	Tebal lapisan	Jamak (<i>multilayer</i>)	Tunggal (<i>monolayer</i>)
8.	Kecepatan	Besar	Kecil
9.	Jumlah zat teradsorpsi	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
11.	Kegunaan	Untuk penentuan luas permukaan dan ukuran pori	Untuk penentuan daerah pusat aktif dan penjelasan kinetika reaksi permukaan



2.1.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Jumlah fluida yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini: (Bahl et al., 1997; Treybal, 1980)

1. Jenis adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul non-polar yang lebih kuat diadsorpsi oleh karbon aktif daripada molekul-molekul yang polar. Molekul-molekul yang non-polar dapat menggantikan molekul-molekul yang polar yang telah lebih dulu teradsorpsi.

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 seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukaannya seperti karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

3. Temperatur

Proses adsorpsi adalah proses eksotermis, berarti peningkatan temperatur pada tekanan yang tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorpsi, berdasarkan prinsip Chatelier.

4. Tekanan adsorbat

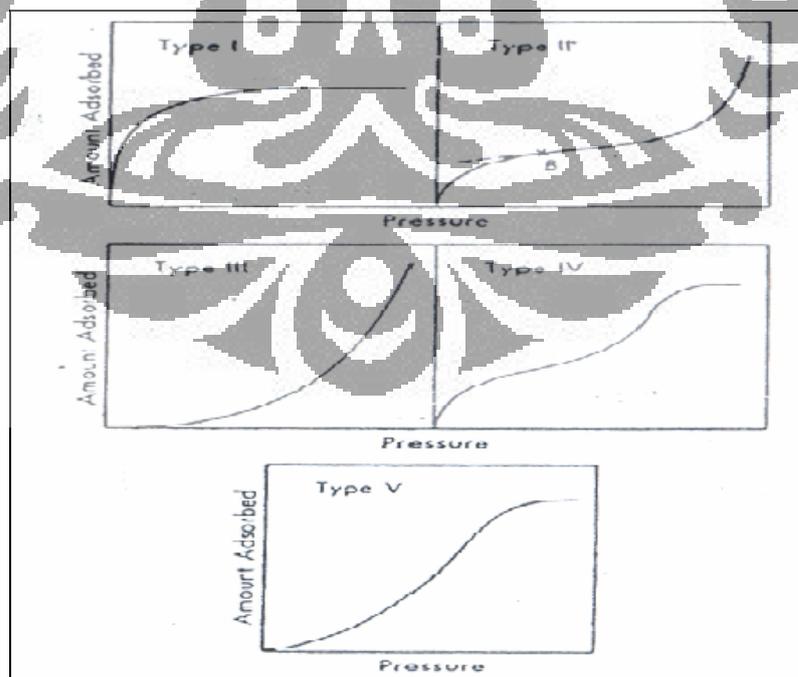


Pada adsorpsi fisika, jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah dengan menaikkan tekanan adsorbat. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang diadsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan adsorbat.

2.1.3 Kesetimbangan Adsorpsi

Pada saat fluida yang mengandung adsorbat dikontakkan dengan padatan adsorben, molekul-molekul adsorbat berpindah dari fluida ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di aliran fluida berada dalam keadaan setimbang dengan adsorbat yang teradsorp dalam padatan adsorben. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan biasa disebut adsorpsi isotermis, dimana terdapat hubungan antara jumlah zat yang teradsorp per unit massa padatan dan tekanan gas adsorbatnya. Adsorpsi isotermis dapat dihitung dengan mengukur tekanan adsorbat pada saat awal (sebelum terjadi kesetimbangan) dan pada saat terjadinya kesetimbangan. (Bahl et al., 1997; Sundstrom dan Herbert, 1979; Ruthven, 1993)

Brunauer mengklasifikasikan adsorpsi isotermis ke dalam lima jenis kurva seperti gambar berikut: (Maron dan Lando, 1974; Bond 1987)



Gambar 2-1. Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET



- Tipe I
Jenis ini disebut *Langmuir Isoterm* menggambarkan adsorpsi satu lapis (monolayer). Banyaknya adsorbat mendekati harga pembatas saat P/P_0 mendekati satu. Jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (*micropore*) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal yang sangat sedikit. Kurva jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan *zeolit molecular sieve*.
- Tipe II
Jenis ini adalah bentuk normal isoterm pada adsorben tak berpori (*non porous*) atau padatan berpori besar (*macro porous*), yang menunjukkan adsorpsi monolayer-multilayer. Titik B yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan kondisi awal tahap linier dari isoterm, biasanya digunakan untuk mengindikasikan tekanan relatif saat pelapisan monolayer selesai.
- Tipe III
Jenis ini menunjukkan tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah. Tidak adanya titik B seperti pada jenis kedua disebabkan karena interaksi adsorbat-adsorbat yang lebih kuat dibanding adsorben-adsorben. Sama seperti tipe II, jumlah lapisan pada permukaan adsorben tidak terbatas (*multilayer*).
- Tipe IV
Jenis ini hampir sama dengan tipe II pada rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).
- Tipe V
Jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat. Tipe V ini juga ditunjukkan oleh pori dengan ukuran sama seperti tipe IV.



2.1.3.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir (Bond, 1987; Maron dan Lando 1974)

Langmuir isotermal dikembangkan oleh Irving Langmuir pada tahun 1916 untuk menggambarkan hubungan permukaan yang ditutupi oleh gas adsorbat pada tekanan gas di atas permukaan adsorben pada temperatur yang tetap. Pada adsorpsi isotermis Langmuir, tipe adsorpsi isotermis yang digunakan adalah tipe I. Adsorpsi isotermis Langmuir digunakan pada adsorpsi kimia dan adsorpsi fisis tipe I.

Persamaan umum yang digunakan pada Langmuir adalah:

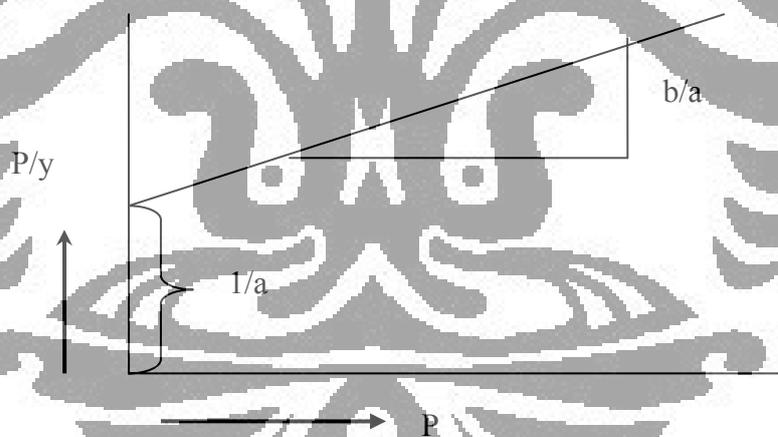
$$\frac{P}{y} = \frac{1}{a} + \frac{b}{a}P \quad (2.1)$$

dimana:

a dan b adalah konstanta

$$a = k_1 b$$

$b = k_1/k_2$ dengan k_1 adalah konstanta proporsionalitas dan k_2 adalah konstanta laju evaporasi



Gambar 2-2. Grafik Isoterm Langmuir

Persamaan Langmuir diatas didasarkan pada asumsi:

- Adsorben dilapisi satu lapisan molekul gas adsorbat (unimolekular atau *monolayer*)
- Molekul teradsorpsi tidak bebas bergerak pada permukaan
- Tidak ada interaksi lateral di antara molekul-molekul adsorbat
- Entalpi adsorpsi sama untuk semua molekul



2.1.3.2 Adsorpsi Isotermis BET (Maron dan Lando, 1974)

Metode ini dikembangkan oleh Brunauer, Emmet dan Teller pada tahun 1938, yang merupakan suatu metode yang mengacu pada teori kinetika langmuir, dan sering digunakan untuk studi-studi karakteristik dari katalis dengan berdasarkan kepada teori adsorpsi gas.

Adsorpsi isotermis yang menggunakan prinsip dan persamaan BET adalah adsorpsi isotermis tipe II-V yang merupakan adsorpsi fisis. Pada tipe ini, adsorben dapat dilapisi oleh beberapa lapisan molekul gas adsorbat (multimolekular atau *multilayer*). Persamaan dari BET adalah :

$$\frac{P}{v(P^0 - P)} = \frac{1}{v_m c} + \left(\frac{c-1}{v_m c} \right) \frac{P}{P^0} \quad (2.2)$$

dimana:

P = tekanan gas saat teradsorpsi

P⁰ = tekanan jenuh adsorbat gas pada temperatur percobaan

V = volume gas yang diadsorp pada tekanan P

V_m = Volume gas yang diadsorp untuk monolayer

c = konstanta yang dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$c = e^{(E_1 - E_L) / RT} \quad (2.3)$$

E₁ = Panas adsorpsi layer 1

E_L = panas pencairan gas pada layer lain.

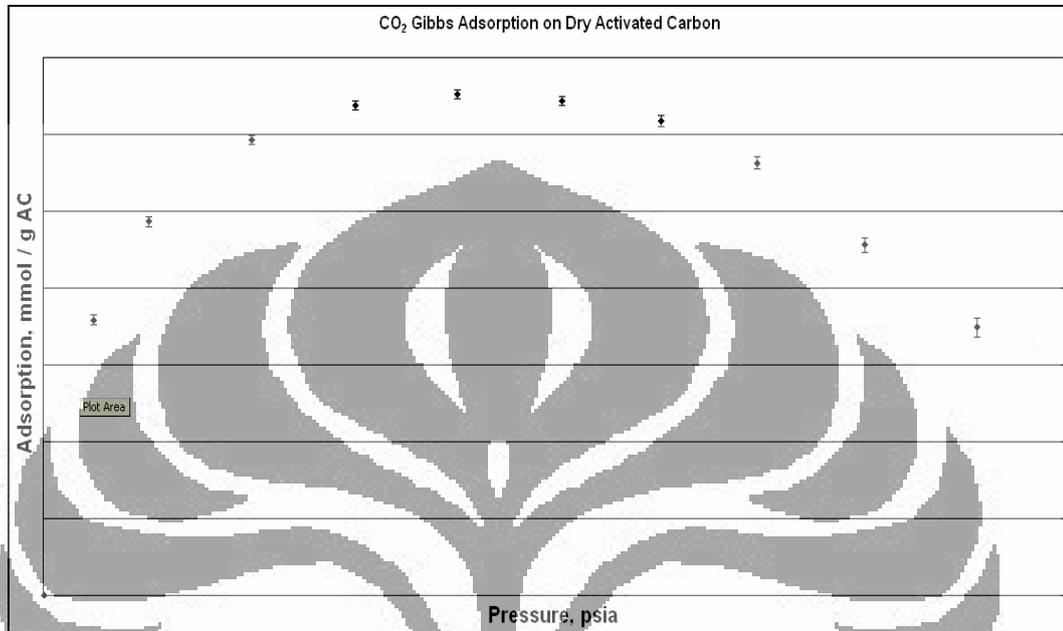
Pada tipe IV dan V terdapat proses kondensasi gas di pori-pori adsorben, sementara pada proses II dan III tidak terdapat proses tersebut. Sementara itu, pada tipe II dan IV E₁ > E_L dan pada tipe III dan V E₁ < E_L.

2.1.3.3 Adsorpsi Isotermis Gibbs

Adsorpsi isotermis Gibbs sedikit berbeda dengan adsorpsi dengan adsorpsi isotermis absolut (BET atau Langmuir). Pada adsorpsi isotermis absolut (Langmuir ataupun BET), jumlah adsorbat yang sudah terlebih dahulu teradsorp diestimasi, dan model ini hanya bisa digunakan pada tekanan rendah. Pada adsorpsi Gibbs ini, jumlah adsorbat yang telah teradsorp lebih dahulu tidak diperhitungkan, sehingga terdapat titik maksimum dari jumlah mol gas yang



teradsorp per gram adsorben pada tekanan tertentu. Jika sudah tekanan sudah melebihi dari tekanan dimana terdapat titik maksimum, maka jumlah mol gas yang teradsorp per gram adsorben akan turun seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2- 3. Grafik Adsorpsi Isotermis Gibbs

Hubungan antara jumlah mol yang teradsorpsi per gram adsorben pada adsorpsi Gibbs dan jumlah mol yang teradsorpsi per gram adsorben absolut adalah sebagai berikut:

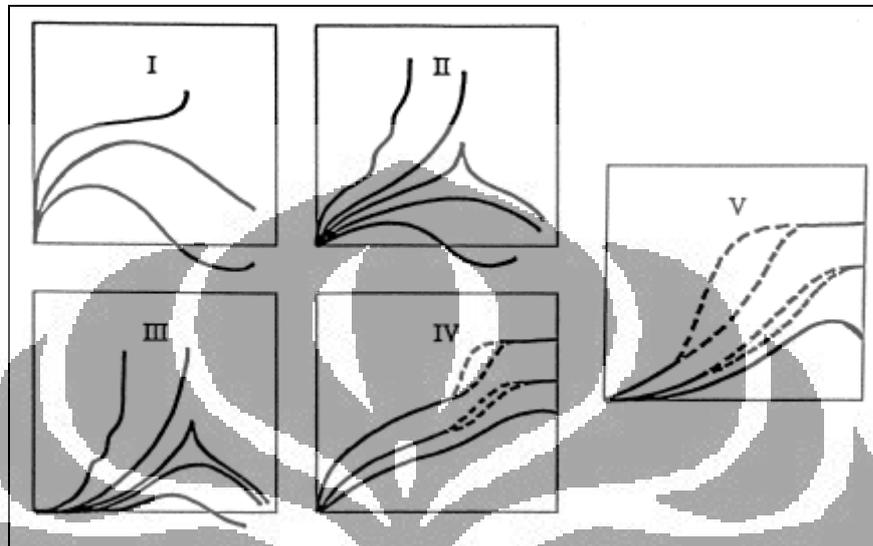
$$n_{Gibbs} = n_{absolute} \times \left(1 - \frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}} \right) \quad (2.4)$$

Pada tekanan rendah, densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada densitas adsorpsi) sehingga $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ bisa dianggap nol dan n_{Gibbs} sama dengan $n_{absolute}$ sehingga n_{Gibbs} terus mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tekanan.

Namun, pada tekanan tinggi, $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ tidak bisa dianggap nol sehingga nilai n_{Gibbs} akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan walaupun harga $n_{absolute}$ naik.



Adsorpsi Gibbs juga terdiri dari 5 tipe (sama seperti adsorpsi Langmuir atau BET). Berikut ini adalah tipe-tipe adsorpsi isothermis Gibbs secara kualitatif: (Donohue dan Aranovich, 1999)



Gambar 2- 4. Kurva Adsorpsi Isothermis Gibbs

Pada gambar di atas, absisnya adalah tekanan dan ordinatnya adalah jumlah zat yang teradsorp. Pada klasifikasi ini, Tipe I menunjukkan adsorpsi isothermis pada adsorben mikropori untuk kondisi subkritis, dekat dengan titik kritis, dan superkritis. Pada kondisi superkritis, adsorpsi isothermis tidak monoton. Tipe II dan III menunjukkan adsorpsi isothermis pada adsorben makropori dengan afinitas kuat dan lemah. Pada temperatur rendah, Tipe II dan Tipe III mempunyai *steps*, tetapi dengan temperatur yang lebih tinggi kurva tersebut menjadi monoton (seperti pada tipe II dan tipe III adsorpsi isothermis BET). Tetapi, di dekat temperatur kritis, adsorpsi isothermis tipe II dan tipe III ini berubah secara signifikan menjadi tidak monoton yang menunjukkan adanya titik maksimum yang tajam dan pada temperatur yang lebih tinggi menunjukkan adanya titik maksimum yang *smooth*. Tipe IV dan V menunjukkan adsorpsi isothermis pada adsorben mesopori dengan afinitas yang kuat dan lemah. (Donohue dan Aranovich, 1999)



2.1.4 Adsorben

Adsorben dapat didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Oleh karena pori-pori itu biasanya sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar daripada permukaan luar, dan bisa sampai $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya.

Dalam beberapa hal, adsorbat melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi dari komponen lain. Regenerasi adsorben dapat dilaksanakan kemudian untuk mendapatkan adsorbat dalam bentuk terkonsentrasi atau hamper murni. (Mc Cabe et al., 1999).

Terdapat banyak sekali zat yang biasa digunakan sebagai adsorben. Adsorben yang paling sering dipakai adalah karbon aktif karena memiliki luas permukaan area yang besar sehingga daya adsorpsinya lebih besar dibandingkan adsorben yang lain. Berdasarkan struktur dan unsur pembangunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua yaitu adsorben tidak berpori (*non porous adsorbents*) dan adsorben berpori (*porous adsorbents*). (Mulyati, 2006).

1. Adsorben tak berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO_4 atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$, umumnya antara 0,1 sampai dengan $1 \text{ m}^2/\text{g}$. Bahan tak berpori seperti filter karet (rubber fillers) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m^2/g .

2. Adsorben berpori



Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100 s.d. 1000 m²/g. Biasanya dipergunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular.

Klasifikasi pori menurut IUPAC:

- Mikropori : diameter < 2 nm
- Mesopori : diameter 2 – 50 nm
- Makropori : diameter > 50 nm

Beberapa jenis adsorben berpori yang terkenal adalah: silikagel, alumina, karbon aktif, zeolit, *molecular sieve*, dan *porous glasses*.

Untuk dapat menjadi adsorben komersial, menurut zat padat tersebut harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut: (Mulyati, 2006)

- Memiliki permukaan yang besar per unit massa sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat
- Ketahanan struktur fisik yang tinggi
- Mudah diperoleh, harga tidak mahal, tidak korosif, tidak beracun
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama adsorpsi, regenerasi
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi

Tabel di bawah ini menginformasikan tentang karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugian adsorben:

Tabel 2-2. Tipe, Karakteristik, Kegunaan, Dan Kerugian Adsorben

Tipe	Karakteristik	Kegunaan	Kerugian
Karbon aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk diregenerasi
Zeolite	Hidrofilik, polar	Pemisahan udara, dehidrsi	Kapasitas total rendah
Silika gel	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif
Alumina aktif	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif



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. (Sontheimer, 1985)

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen.

Karbon aktif terdiri dari 87 - 97% karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm³/gram dan bahkan terkadang melebihi 1 cm³/gram. Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 400 m²/gram dan bahkan bisa mencapai di atas 1000 m²/gram. (Sudibandriyo, 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 pori-pori besar dari karbon aktif yang dapat dilihat dari *Scanning Electron Micrographs (SEM)*. 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



Konsentrasi pengotor yang serendah mungkin sangat penting karena setelah proses aktivasi juga akan terbentuk senyawa-senyawa pengotor tersebut dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada karbon aktif juga terdapat pengotor berupa logam. Hal ini menjadi perhatian khusus karena adanya kemungkinan untuk proses *leaching* sehingga bisa masuk ke dalam air, reaksi permukaan katalitik, dan racun terhadap aktivitas biologi yang menguntungkan pada kolom karbon aktif granular atau *Granular Activated Carbon (GAC)*.

Karbon aktif memiliki banyak sekali kegunaan yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2-3. Fungsi dan Kegunaan Karbon Aktif (www.warintek.net/arang_aktif, 2003)

Maksud/Tujuan	Pemakaian
I. UNTUK GAS	
1. Pemurnian gas	Desulfurisasi, menghilangkan gas beracun, bau busuk, asap, menyerap racun
2. Pengolahan LNG	Desulfurisasi dan penyaringan berbagai bahan mentah dan reaksi gas
3. Katalisator	Reaksi katalisator atau pengangkut vinil klorida, dan vinil acetate
II. UNTUK ZAT CAIR	
1. Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak enak pada makanan
2. Minuman ringan, minuman keras	Menghilangkan warna, bau pada arak/ minuman keras dan minuman ringan
3. Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah, zat perantara
4. Pembersih air	Menyaring/menghilangkan bau, warna, zat pencemar dalam air, sebagai pelindung dan penukaran resin dalam alat/penyulingan air
5. Pembersih air buangan	Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar, warna, bau, logam berat.



6. Penambahan udang dan benur	Pemurnian, menghilangkan bau, dan warna
7. Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil acetat dan lain-lain
III. LAIN-LAIN	
1. Pengolahan pulp	Pemurnian, menghilangkan bau
2. Pengolahan pupuk	Pemurnian
3. Pengolahan emas	Pemurnian
4. Penyaringan minyak makan dan glukosa	Menghilangkan bau, warna, dan rasa tidak enak

2.2.1 Sejarah dan Perkembangan Karbon Aktif

Sejarah karbon aktif dimulai sejak tahun 1600 SM, orang-orang Mesir menggunakan arang kayu dalam dunia pengobatan. Pada abad 13 M, Jepang sudah menggunakan filter arang sebagai penyaring untuk sumur. Kemudian tahun 1773 seorang ahli kimia dari Swedia, Karl Wilhem Scheele, menemukan fenomena adsorpsi gas oleh arang (*charcoal*). Penggunaan karbon aktif untuk penghilangan warna pertama kali ditemukan oleh ahli kimia Belanda, Lowitz, tahun 1786. Lowitz menemukan bahwa jika arang dicelupkan dalam larutan asam tartar, warnanya akan menghilang karena terjadi adsorpsi senyawa organik dari larutan asam tartar oleh arang.

Tahun 1794, arang ini mulai digunakan industri Inggris untuk proses penghilangan warna. Sampai kemudian von Ostrejko tahun 1900, 1901 mendapatkan dua hak paten untuk proses manufaktur karbon aktif secara kimiawi dengan metal klorida dan secara fisika dengan CO₂ dan H₂O. Lalu tahun 1909 di Raciborz, Jerman didirikan pabrik penghasil karbon aktif pertama kalinya dalam skala komersil yang diberi nama EPONIT. Penggunaan karbon aktif terus berkembang untuk pengolahan air yang tercemar, proses *recycle* pelarut, dsb. Tahun 1920, penggunaan karbon aktif untuk pengolahan air meningkat.

Pada dua dekade terakhir, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dari karbon dan fenomena adsorpsi permukaan karbon aktif banyak digunakan

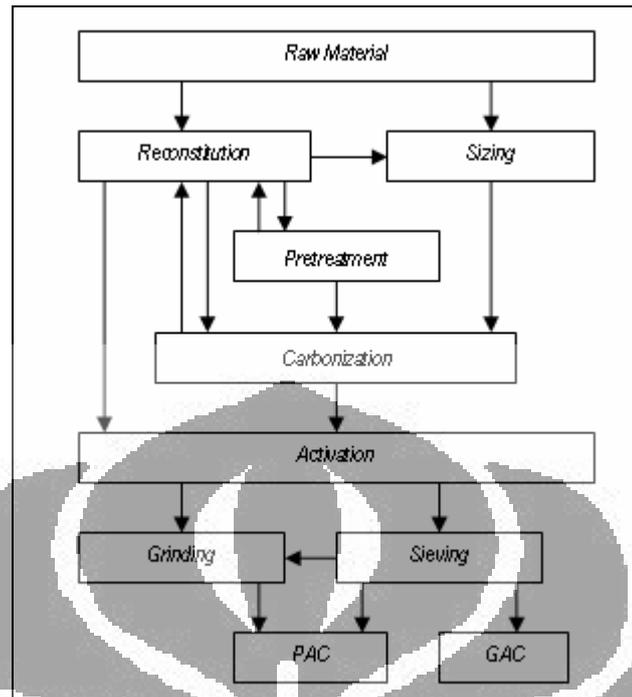


sebagai adsorben untuk buangan gas, antara lain: pengolahan air dan limbah, penghilangan kontaminan dalam larutan, dan sebagainya. Karbon aktif juga dapat digunakan sebagai penyangga katalis dan elektrode pada proses elektrokimia.

2.2.2 Proses Produksi Karbon Aktif

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif terdiri dari proses karbonisasi pirolitik bahan dasar serta proses aktivasi. Selama proses karbonisasi, komponen yang mudah menguap akan terlepas dan karbon mulai membentuk struktur pori-pori dimana proses pembentukan pori-pori ini akan ditingkatkan pada proses aktivasi. Pada proses aktivasi, terjadi pembukaan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran dan jumlah dari pori-pori kecil yang telah terbentuk. (Sontheimer, 1985).

Proses pembuatan karbon aktif dibedakan menjadi 2, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Pada metode langsung, bahan dasar dibentuk sesuai ukuran yang diinginkan kemudian akan melalui proses karbonisasi serta aktivasi, lalu produk yang didapatkan kemudian disaring. Metode langsung ini biasa dipakai untuk karbon aktif yang berbahan dasar tempurung kelapa, batu bara yang relatif padat, dan bahan dasar lainnya yang digunakan untuk membuat karbon aktif yang berbentuk serbuk atau *Powdered Activated Carbon (PAC)*. Metode tidak langsung digunakan untuk karbon aktif yang berbahan dasar batu bara muda, *peat*, serta *petrol coke*. Untuk karbon aktif dengan bahan dasar seperti ini diperlukan proses *reconstitution* dan *pretreatment* selain proses-proses pada metode langsung di atas. Pada karbon aktif yang berbahan dasar batu bara muda, diperlukan proses *pretreatment* untuk mengontrol kehilangan pori-pori kecil selama proses karbonisasi yang disebabkan karena adanya *sweeling* dan *softening* dari batu bara tersebut. Skema proses produksi karbon aktif dapat dilihat pada gambar berikut: (Sontheimer, 1985).



Gambar 2-5. Skema proses pembuatan karbon aktif

Pada proses produksi karbon aktif, proses aktivasi merupakan proses yang terpenting karena proses ini sangat menentukan sekali terhadap kualitas karbon aktif yang dihasilkan baik luas area permukaan maupun daya adsorpsinya. Pada prakteknya, karbon aktif diproduksi baik dengan aktivasi kimiawi maupun aktivasi fisis.

- Aktivasi kimiawi digunakan untuk bahan dasar yang mengandung selulosa dan menggabungkan antara tahap karbonisasi dan tahap aktivasi. Zat kimia yang dapat mengoksidasi (*activating agent*) seperti *phosphoric acid* (H_3PO_4) atau KOH ditambahkan ke bahan dasar pada temperatur yang telah dinaikkan. Produk ini kemudian dipanaskan secara pirolisis sehingga menyebabkan degradasi selulosa. Kemudian produk tersebut didinginkan dan *activating reagent* kemudian diekstrak. Karbon aktif yang diproduksi dengan cara ini adalah karbon aktif serbuk dengan densitas rendah, tanpa proses *treatment* yang khusus, mempunyai proporsi pori-pori kecil yang rendah, sehingga membuat kurang cocok digunakan pada proses penghilangan *micropollutants* dan zat-zat yang menyebabkan bau tidak sedap. Masalah yang timbul jika menggunakan H_3PO_4 sebagai zat kimia yang dapat mendehidrasi adalah

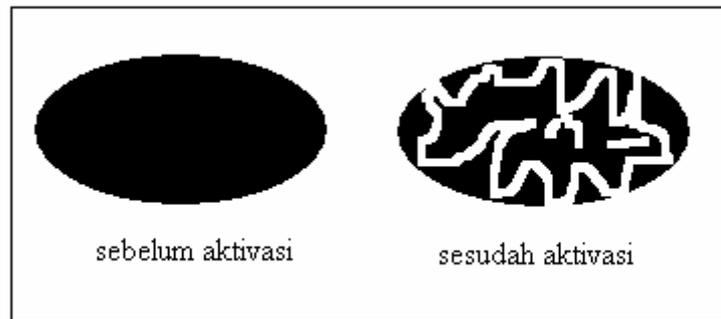


diperlukannya proses tambahan yaitu *leaching* ion fosfat dari karbon. Aktivasi kimiawi ini bertujuan mengurangi pembentukan pengotor dan produk samping dengan cara merendam bahan mentah (contoh: kayu).

- Aktivasi fisis biasa digunakan untuk memproduksi karbon aktif yang akan digunakan untuk *water treatment* dan prosesnya adalah endotermis. Proses endotermis ini melibatkan kontak antara *activating agent* berfasa gas, biasanya *steam*, walaupun CO₂ dan air juga terkadang digunakan, dengan arang pada temperatur 850-1000 °C. Pada proses ini seringkali terjadi reduksi dari ukuran adsorben yang disebabkan karena kelebihan oksidasi eksternal selama gas pengoksidasi berdifusi ke dalam karbon yang tidak teraktivasi.

Pada penelitian ini akan dipakai aktivasi terkontrol dimana pada proses ini dialirkan gas inert N₂ pada laju alir tertentu yang dikontrol serta ditambahkan *activating reagent* KOH dengan massa tertentu untuk mengkondisikan proses bebas dari gas oksigen yang dapat membakar karbon secara tidak terkontrol. Dengan proses aktivasi seperti ini akan didapat luas area permukaan karbon aktif yang lebih besar daripada luas area permukaan karbon aktif pada umumnya. Garcia-Garcia et al. (2002) sudah melakukan penelitian dengan menggunakan metode aktivasi ini dengan bahan dasar dari arang limbah pinus dan hasilnya berupa luas area permukaan karbon aktif sebesar 1908 m²/gram. Dengan luas permukaan yang besar, maka daya adsorpsinya juga akan besar (Sontheimer, 1985).

Aktivitas sebagai adsorben dibentuk salah satunya oleh unsur-unsur mineral dan senyawa kimia yang ditambahkan saat dilakukan aktivasi. Unsur-unsur mineral dan senyawa kimia ini akan meresap dan membuka permukaan yang tadinya tertutup oleh komponen-komponen kimia sehingga pori-pori akan terbuka yang menyebabkan luas area permukaan makin besar dan karbon aktif bertindak sebagai adsorben yang baik.

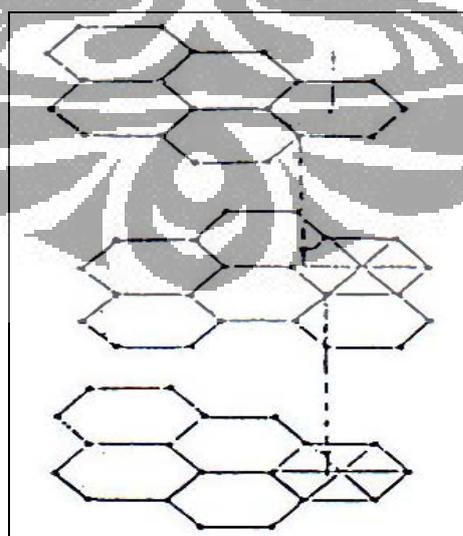


Gambar 2-6. Struktur Karbon Aktif Sebelum dan Sesudah Aktivasi

Ketika struktur pori-pori elementer ditentukan oleh bahan dasar atau terkadang *pretreatment*, jenis *activating agent* serta lama dan temperatur proses aktivasi dapat mengakibatkan adanya perbedaan properti dari adsorben.

2.2.3 Sifat Fisis Karbon Aktif

Karbon aktif mempunyai bentuk yang amorf yang terdiri dari pelat-pelat datar di mana atom-atom karbonnya tersusun dan terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal. Hal tersebut telah dibuktikan dengan penelitian menggunakan sinar-X yang menunjukkan adanya bentuk-bentuk kristalin yang sangat kecil dengan struktur grafit.



Gambar 2-7. Struktur Fisik Karbon Aktif

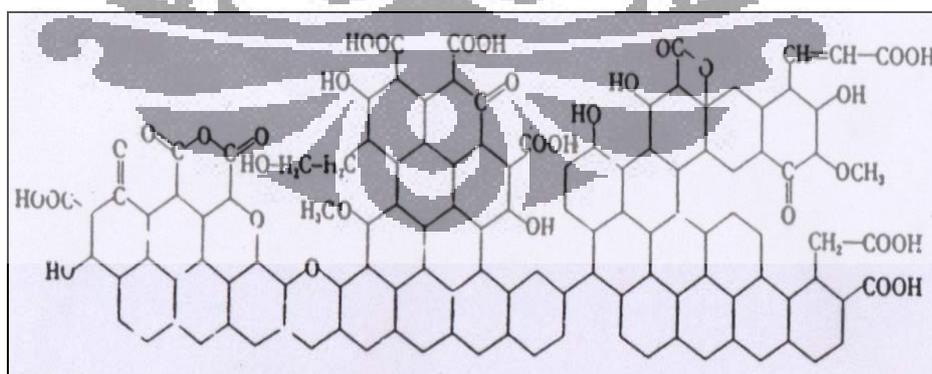


Daerah kristalin memiliki ketebalan 0,7-1,1 nm, jauh lebih kecil dari grafit. Hal ini menunjukkan adanya 3 atau 4 lapisan atom karbon dengan kurang lebih terisi 20-30 heksagon di tiap lapisannya. Rongga antara kristal-kristal karbon diisi oleh karbon-karbon amorf yang berikatan secara tiga dimensi dengan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

2.2.4 Struktur Kimia Karbon Aktif

Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon, dan gugus-gugus eter. Oksida-oksida permukaan tersebut seringkali berasal dari bahan bakunya, atau dapat pula terbentuk akibat reaksi dengan udara maupun uap air. Oksida-oksida tersebut biasanya bersifat asam sehingga menurun ke karbon aktifnya.

Gugus fungsional dibentuk selama proses aktivasi oleh interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Gambar 2-8 menunjukkan struktur kimia pada permukaan karbon aktif.



Gambar 2- 8. Struktur Kimia Permukaan Karbon Aktif



2.2.5 Karbon Aktif Sebagai Adsorben

Karbon aktif merupakan adsorben yang paling sering digunakan karena mempunyai luas area permukaan dan daya adsorpsi yang paling besar di antara adsorben-adsorben lainnya. Karbon aktif dikenal sebagai adsorben yang mempunyai kapasitas adsorpsi yang besar serta termasuk adsorben yang non-polar. Sifat adsorpsi karbon aktif juga tergantung pada luas permukaan internalnya. Daya guna permukaan karbon aktif, yaitu dinding porinya ditentukan oleh ukuran pori dan distribusinya. Aktifitas karbon aktif sebagai adsorben dibentuk salah satunya oleh unsur-unsur mineral dan senyawa kimia yang ditambahkan pada saat aktivasi, yang akan meresap ke dalamnya dan membuka permukaan yang tadinya tertutup oleh komponen-komponen kimia sehingga pori-pori akan semakin banyak. Pori-pori yang terbuka ini menyebabkan karbon aktif dapat bertindak sebagai adsorben yang sangat tinggi kualitasnya. Luas permukaan karbon aktif biasanya diukur oleh aplikasi model Langmuir, BET, dan model adsorpsi isothermis lainnya. Produk karbon aktif komersial umumnya memiliki luas permukaan spesifik antara 200-1500 m²/gr. (Criscone, 1993)

Luas permukaan karbon aktif biasanya diukur oleh aplikasi model BET terhadap adsorpsi fisis dengan menggunakan nitrogen sebagai adsorbat. Luas permukaan efektif karbon aktif jenis mikropori jauh lebih kecil sebab dalam proses adsorpsi nitrogen dalam pori tidak tampak menurut proses yang diasumsikan oleh model BET. Adsorpsi isothermis biasanya ditentukan oleh adsorbat yang tepat untuk menilai luas area permukaan yang efektif dari suatu produk pada suatu aplikasi tertentu. (Gultom, 1998)

2.3 TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI BAHAN DASAR KARBON AKTIF

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar selama bahan dasar tersebut mengandung karbon. Salah satu bahan dasar yang biasa digunakan sebagai karbon aktif adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa mengandung material lignoselulosis. Tempurung kelapa terdiri dari 62% selulosa dan hemiselulosa yang merupakan polimer linear dari glukosa serta mengandung 35% lignin yang merupakan polimer 3 dimensi dari alkohol aromatik. Sementara itu



sisia kandungan tempurung kelapa sebesar 3% merupakan zat intraselular. (McKay dan Roberts, 1982).

Tempurung kelapa memiliki beberapa alasan untuk digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif antara lain karena kandungan karbonnya yang sangat banyak serta kemudahan bahan tersebut untuk didapatkan secara komersial sehingga sering disebutkan bahwa tempurung kelapa merupakan bahan dasar yang paling cocok untuk karbon aktif. Tempurung kelapa yang digunakan sebagai bahan dasar, bisa menghasilkan produk berupa karbon aktif granular tanpa membutuhkan proses pembentukan menjadi *pellet* sehingga lebih ekonomis dan efisien. (Farris et al., 1992).

Tempurung kelapa yang baik untuk digunakan sebagai karbon aktif haruslah yang sudah tua, kayunya keras, kadar air rendah, sehingga dalam proses pengarangan, pematangannya akan berlangsung baik dan merata. Jika kadar airnya tinggi berarti kelapa belum cukup tua sehingga proses pengarangan akan berlangsung lebih lama. (www.warintek.net/arang_aktif, 2003).



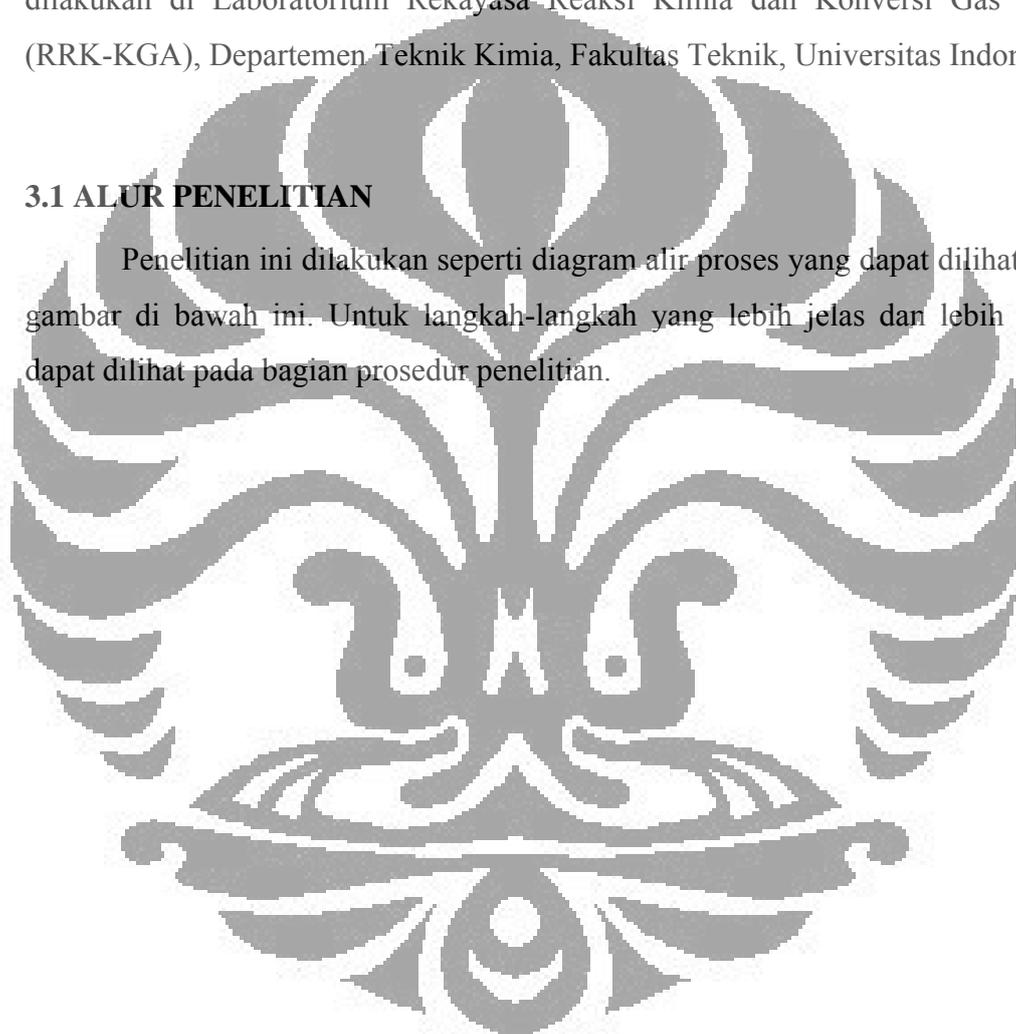
BAB III

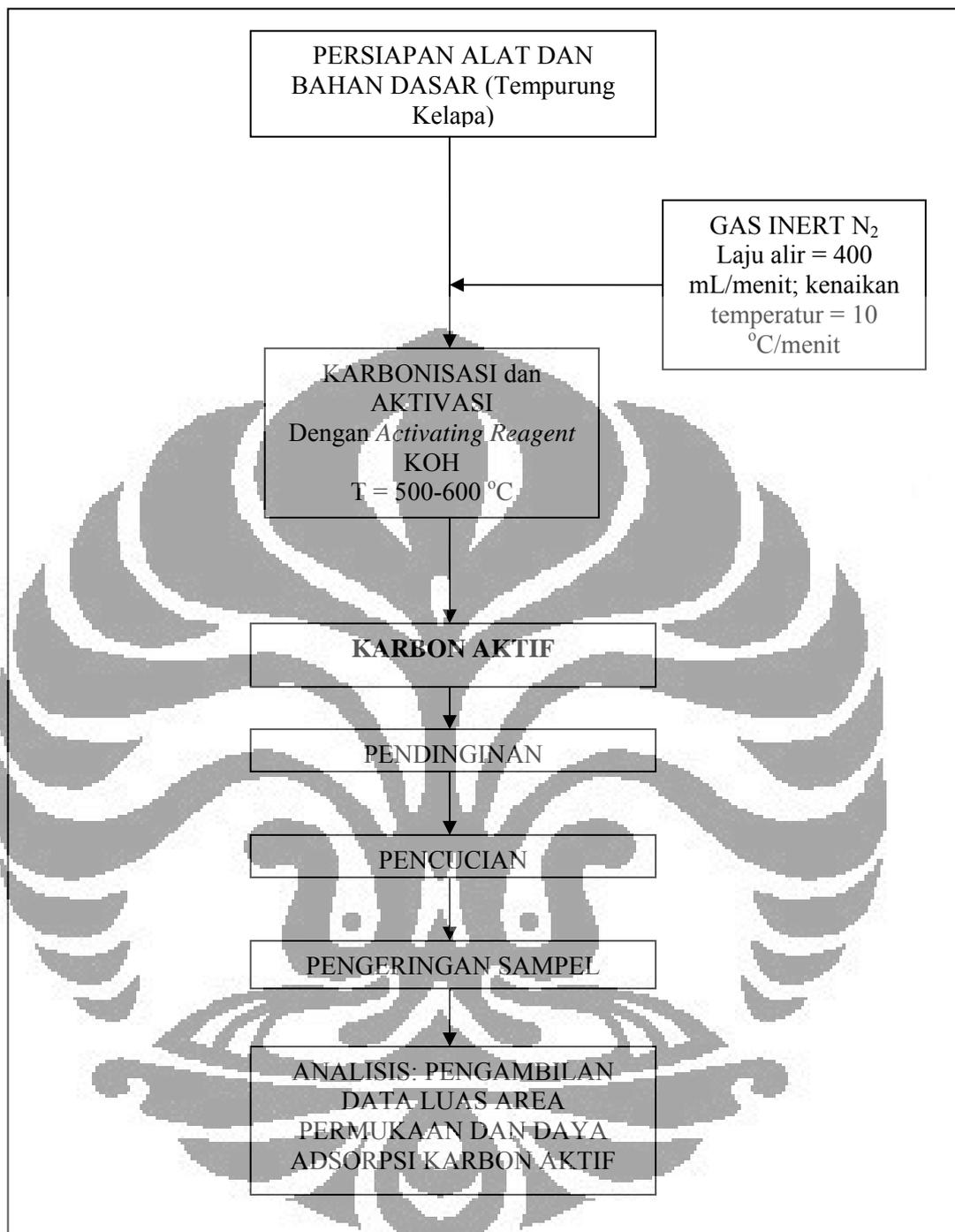
METODE PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas diagram alir proses penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, dan prosedur penelitian. Penelitian dilakukan di Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam (RRK-KGA), Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

3.1 ALUR PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan seperti diagram alir proses yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Untuk langkah-langkah yang lebih jelas dan lebih detail dapat dilihat pada bagian prosedur penelitian.





Gambar 3-1. Diagram Alir Penelitian

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

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



3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan Dasar

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Reaktor Autoclave
2. Autosorb 6B produksi Quantachrome
3. 1 set alat adsorpsi yang terdiri dari *dozing cylinder*, *sampling cylinder*, 2 buah pengukur tekanan (*pressure gauges*), 3 buah *valve*, dan pipanya.
4. Timbangan
5. *Furnace/Oven*

Sementara itu, bahan-bahan yang perlu disiapkan antara lain:

1. Tempurung kelapa tua
Tempurung kelapa yang digunakan harus yang sudah tua, keras, dan mempunyai kadar air rendah. Kemudian dibentuk menjadi serbuk. Selain itu, tempurung kelapa perlu dipanaskan untuk menghilangkan kadar airnya.
2. Larutan KOH 65% berat
Larutan ini digunakan sebagai *activating reagent*.
3. HCl 5N
4. Air distilasi
5. Gas Nitrogen
6. Gas CO₂
7. Gas Helium

3.2.2 Karbonisasi dan Aktivasi

Untuk mengetahui pengaruh penambahan *activating reagent*, maka proses ini dibagi menjadi 2 yaitu karbonisasi dan aktivasi dengan *activating reagent* serta karbonisasi dan aktivasi tanpa *activating reagent*.

Pada penelitian ini, digunakan proses aktivasi kimiawi karena tempurung kelapa mengandung selulosa. Proses aktivasi kimiawi ini menyebabkan penggabungan dari proses karbonisasi dan proses aktivasi sendiri sehingga dapat menghemat waktu, energi yang digunakan, serta biaya. Pada prosedur ini temperatur proses aktivasi divariasikan.



Bahan dasar (tempurung kelapa) dicampur dengan *activating reagent* berupa larutan KOH 65% berat dengan rasio massa *activating reagent*/massa arang adalah 4/1. Campuran ini kemudian dimasukkan ke sebuah wadah yang terbuat dari *stainless steel*. Pada reaktor tersebut dialirkan gas N₂ dan laju alirnya dikontrol 400 mL/menit. Sebelum digunakan, reaktor harus diperiksa untuk memastikan bahwa oksigen telah dikeluarkan dari reaktor tersebut. Lalu, campuran yang berisi arang dan *activating reagent* dipanaskan sehingga tercapai temperatur proses kenaikan suhu 10 °C/menit. (Farris et al., 1992 ; Garcia-Garcia et al., 2002). Pada penelitian ini, dilakukan 2 variasi temperatur aktivasi yaitu pada 500 °C dan 600 °C.

Setelah prosedur ini selesai dilakukan, maka akan didapatkan produk karbon aktif. Namun, produk ini masih perlu diberi *treatment* lagi supaya didapat karbon aktif yang benar-benar murni.

3.2.3 Pendinginan

Setelah proses aktivasi di *furnace*, sampel yang didapat yang sebenarnya sudah merupakan karbon aktif didinginkan sampai temperatur *furnace* di bawah 100 °C dengan tetap mengalirkan N₂. Sampel tersebut masih terdapat di dalam reaktor *Autoclave* di dalam *furnace* dengan *furnace* dalam keadaan mati. (Garcia-Garcia et al., 2002).

3.2.4 Pencucian

Setelah didinginkan, sampel tersebut dicuci lima kali dengan menggunakan 250 mL larutan HCl 5 N pada 85^oC selama 30 menit dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa-sisa kloridanya. (Garcia-Garcia et al., 2002).

3.2.5 Pengeringan Sampel

Setelah dicuci, sampel dikeringkan pada suhu 120 °C selama 12 jam. (Garcia-Garcia et al., 2002). Sampel karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga agar karbon aktif tetap kering.

3.2.6 Analisis

Pada penelitian ini, akan dilakukan analisis luas area permukaan dan daya adsorpsi terhadap setiap hasil karbon aktif yang dihasilkan.

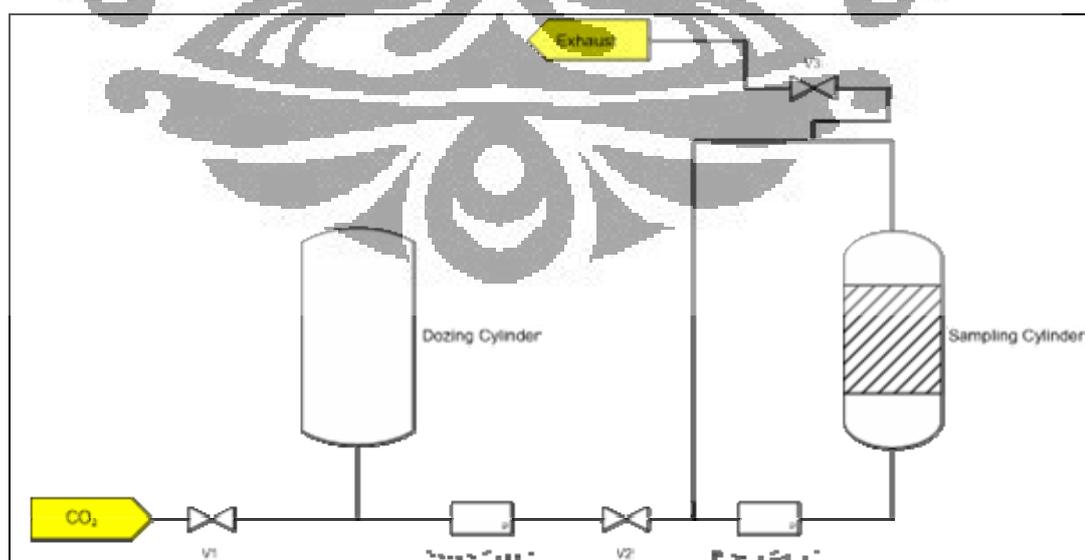
3.2.6.1 Analisis Luas Area Permukaan Karbon Aktif

Setiap produk karbon aktif yang telah dimurnikan, dianalisis luas area permukaannya dengan menggunakan Autosorb 6B produksi Quantachrome yang terdapat di laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dengan alat ini, maka luas area permukaan karbon aktif bisa langsung diketahui. Sebelum dimasukkan ke dalam Autosorb 6B, sampel karbon aktif harus ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massanya sehingga kita bisa mengetahui luas area permukaannya setiap 1 gram karbon aktif.

3.2.6.2 Analisis Daya Adsorpsi Karbon Aktif

Pada analisis ini adsorbat yang dipakai adalah gas karbondioksida (CO_2). Prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut: (Goodman et al., 2004)

1. Mempersiapkan peralatan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3- 2. Skema Alat untuk Analisa Daya Adsorpsi Karbon Aktif



Setelah alat tersebut terinstalasi seperti Gambar 3-2 di atas, dilakukan cek kebocoran terhadap *dozing cylinder*, *sampling cylinder*, serta pipa-pipanya. Cek kebocoran dilakukan dengan cara mengalirkan gas CO₂ ke peralatan tersebut tanpa memasukkan karbon aktif ke *sampling cylinder*. Kemudian ditunggu selama beberapa jam. Jika setelah beberapa jam tekanan tersebut turun berarti terjadi kebocoran pada alat tersebut sehingga harus segera diatasi.

2. Kalibrasi volume *Dozing Cylinder*

- Mengisi *dozing cylinder* serta pipa-pipa dengan air sampai penuh.
- Air tersebut kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk mengetahui volumenya. Volume ini adalah volume *dozing cylinder* beserta pipa-pipa.

3. Kalibrasi *Helium Void Volume Sampling Cylinder*

Pada *sampling cylinder* terdapat karbon aktif sebagai adsorben dengan massa karbon aktif yang dimasukkan sampai penuh. Volume void dari *Sampling Cylinder* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *Sampling Cylinder*.

$$V_{\text{void}} = V_{\text{SC}} - V_{\text{ruang yang terisi karbon aktif}} + V_{\text{pori-pori karbon aktif}} \quad (3.1)$$

Prosedur pencarian volume void *Sampling Cylinder* adalah sebagai berikut:

- Mengatur temperatur adsorpsi pada 30 °C.
- Mengisi *dozing cylinder* dengan gas He dengan cara membuka valve V-1 dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Sementara itu, valve V-2 dalam keadaan tertutup. Valve V-1 ditutup ketika pada tekanan tertentu di *dozing cylinder*. Setelah itu, mencatat tekanan *dozing cylinder* awal (P_{di}) serta tekanan awal *sampling cylinder* (P_{si}). Dengan data ini, maka kita bisa mengetahui jumlah mol He yang terdapat pada *dozing cylinder* menurut persamaan berikut ini:

$$n = \frac{P_{di} V_{\text{dozing cylinder}}}{Z_{\text{He}, di} RT} \quad (3.2)$$

Pada prosedur ini $V_{\text{dozing cylinder}} = V_{\text{He}}$



- c. Membuka valve V-2 dan mengalirkan gas He tersebut ke dalam *Sampling Cylinder*. Kemudian mencatat tekanan (P_{df}) dari *Dozing Cylinder*. Dengan data ini, maka kita akan dapat mengetahui jumlah mol (n_i) dari gas He yang dimasukkan ke *Sampling Cylinder* dengan persamaan:

$$n_i = \left(\frac{P_{di}}{Z_{He,di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{He,df} RT} \right) V_{dozing\ cylinder} \quad (3.3)$$

- d. Menunggu 30 menit setelah itu mencatat tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}). Mencari volume void dari *Sampling Cylinder* dengan persamaan:

$$V_{void} = \frac{n_i Z_{He,sf} RT}{P_{sf}} \quad (3.4)$$

- e. Mengeluarkan gas He dari *Sampling Cylinder* dengan membuka valve V-3.
f. Langkah a sampai e dilakukan 4 kali. Setelah 4 kali *running*, hasil volume void yang didapatkan dari setiap *running* dirata-ratakan.

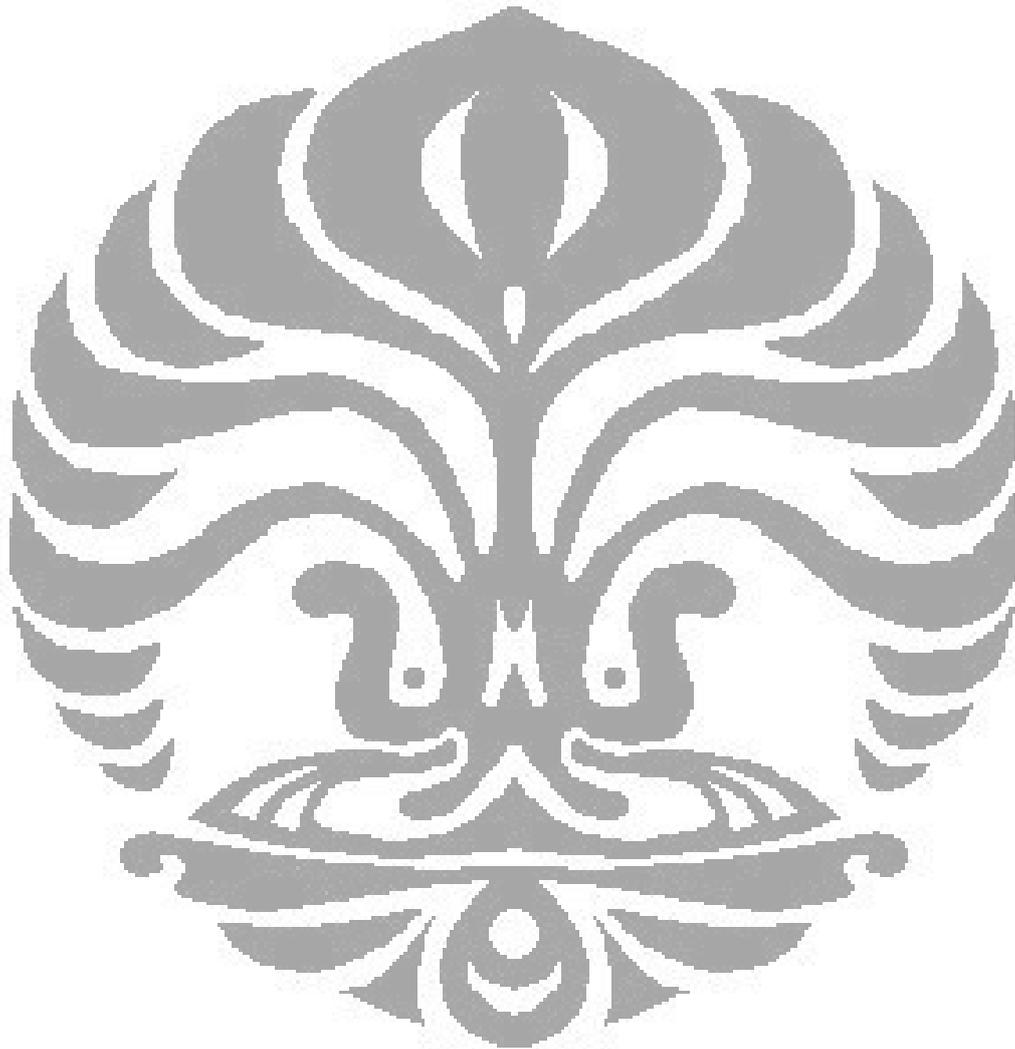
4. Adsorpsi Gas CO₂

- a. Mengatur temperature adsorpsi pada 30 °C.
b. Mengisi *dozing cylinder* dengan gas CO₂ dengan membuka valve V-1 dan mengalirkannya ke *dozing cylinder*. Setelah terisi, valve V-1 ditutup dan mencatat tekanan awal *dozing cylinder* (P_{di}) dan *sampling cylinder* (P_{si}).
c. Mengalirkan gas CO₂ ke *Sampling Cylinder* dengan membuka valve V-2. Ketika gas CO₂ telah masuk ke dalam *Sampling Cylinder*, menutup valve V-2 serta mencatat tekanan akhir *dozing cylinder* (P_{df}).
d. Menunggu selama 3 jam, kemudian mencatat tekanan akhir dari *sampling cylinder* (P_{sf}).
e. Mencari jumlah mol zat yang teradsorp dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$n_{CO_2\ teradsorp} = n_{CO_2\ i} - n_{CO_2\ tidak\ teradsorp}$$
$$n_{CH_4\ teradsorp} = \left[\left(\frac{P_{di}}{Z_{CO_2,di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{CO_2,df} RT} \right) V_{dozing\ cylinder} \right] - \left[\frac{P_{sf} V_{void}}{Z_{CO_2,sf} RT} \right] \quad (3.5)$$



- f. Prosedur a sampai d dilakukan untuk tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}) sekitar 100 psi, 200 psi, 300 psi, 400 psi, 500 psi, dan 700 psi.
5. Prosedur 1 sampai 4 dilakukan untuk setiap produk karbon aktif yang didapatkan dari semua variasi temperatur proses aktivasi.





BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PREPARASI

Tempurung kelapa (Gambar 4-1) sebagai bahan dasar karbon aktif dicampur dengan *activating agent* KOH 65%. Hal ini dilakukan supaya proses oksidasi selama pembakaran atau aktivasi bahan dasar menjadi karbon aktif dapat membentuk pori-pori lebih banyak. Pembakaran dengan oksigen tidak diinginkan karena pembakaran dengan oksigen tidak akan banyak membentuk pori-pori. Untuk mencegah reaksi pembakaran dengan oksigen, maka dialirkanlah gas inert nitrogen. Dengan adanya gas inert nitrogen, diharapkan selama proses pembakaran yang membakar adalah KOH karena gas oksigen sudah keluar dari reaktor.



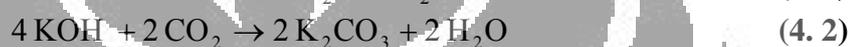
Gambar 4- 1. Bahan Dasar Tempurung Kelapa

Pembakaran atau aktivasi dengan *activating agent* KOH akan mengontrol proses pembakaran sehingga pori-pori kecil yang terbentuk lebih banyak. *Activating agent* juga berguna untuk mencegah terbentuknya *tar* serta mengurangi pembentukan asam asetat, metanol, dan lainnya.



Pori-pori kecil (mikropori) lebih diinginkan daripada makropori karena sebagian besar proses adsorpsi berlangsung di mikropori. Makropori hanya berperan sebagai pori untuk mentransfer adsorbat dari permukaan yang lebih luar ke mikropori. Selain itu, diameter pori yang besar akan menyebabkan luas area permukaan semakin kecil sehingga lebih sedikit gas CO₂ yang teradsorp. (Ding dan Bhatia, 2003)

Proses aktivasi karbon aktif yang dilakukan pada penelitian ini tergolong aktivasi kimia. Pada aktivasi kimia tidak hanya terdapat proses pemanasan tetapi juga melibatkan reaksi kimia didalamnya. Reaksi yang terjadi pada proses aktivasi kimia dalam penelitian ini: (Mulyati, 2006)



Aktivasi kimia ini dilakukan tidak hanya untuk menghilangkan pengotor berupa air dan senyawa volatil tetapi juga untuk mengurangi kandungan abu dan untuk menciptakan beberapa pori yang baru serta menciptakan luas permukaan internal yang besar.

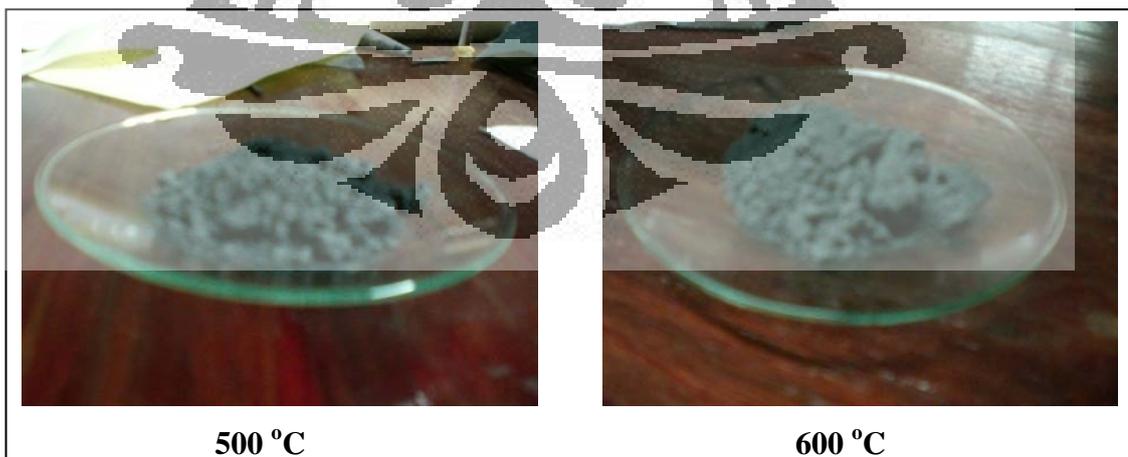
Pada proses aktivasi, karbon bereaksi dengan *activating agent* KOH sehingga akan membentuk pori-pori baru (melubangi permukaan karbon) serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous carbon* yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya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

Proses pembakaran ini dilakukan di dalam reaktor Autoclave (Gambar 4-2) di dalam furnace Nabertherm. Ke dalam reaktor tersebut dialirkan gas nitrogen dan dipasang pipa *exhaust* ke lingkungan untuk membuang gas hasil proses pembakaran.



Gambar 4- 2. Reaktor *Autoclave*

Bahan yang dimasukkan ke reaktor *autoclave* adalah bahan dasar yang telah dicampur dengan larutan KOH 65% dengan massa 150 gram. Kemudian dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 500 °C dan 600 °C selama 1 jam serta dialirkan gas nitrogen ke dalam reaktor tersebut untuk proses aktivasi. Setelah dikeluarkan dari furnace, karbon aktif memiliki massa sekitar 81 gram untuk sampel 500 °C dan sekitar 80,8 gram untuk sampel 600 °C. Kedua sampel tersebut memiliki warna hitam keabu-abuan. Gambar 4-3 adalah gambar hasil karbon aktif setelah proses aktivasi di furnace pada suhu 500 °C dan 600 °C.



Gambar 4- 3. Sampel Karbon Aktif setelah Aktivasi



Setelah proses aktivasi, maka hasil karbon aktif tersebut dicuci dengan mencampurkannya ke larutan HCl 5N. HCl 5N sama dengan HCl 5M karena pada asam tersebut hanya terdapat 1 proton (H^+). HCl digunakan untuk menghilangkan sisa-sisa ion OH^- yang masih terdapat pada hasil karbon aktif. Karbon aktif dicelupkan ke larutan HCl tersebut dan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit serta dipanaskan pada suhu $85\text{ }^\circ\text{C}$. Pada saat proses pencampuran karbon aktif dengan HCl ini timbul gelembung-gelembung. Gelembung tersebut diperkirakan adalah gas hasil reaksi (CO_2 dan H_2) pada proses aktivasi yang menempati pori-pori sehingga pada saat proses pemanasan pada pencucian karbon aktif tersebut, gas tersebut akan tergeser dan keluar dari pori-pori karbon aktif. Setelah dicuci dengan HCl warna karbon aktif menjadi hitam dari sebelumnya hitam keabu-abuan. Setelah dicuci dengan HCl kemudian dibilas dengan air distilasi untuk menghilangkan sisa-sisa ion Cl^- dan dikeringkan di oven pada $120\text{ }^\circ\text{C}$ selama 12 jam untuk menguapkan airnya. Setelah dikeringkan didapat sampel akhir karbon aktif dengan massa sekitar 3,531 gram untuk suhu aktivasi $500\text{ }^\circ\text{C}$ dan sekitar 3,3 gram untuk suhu aktivasi $600\text{ }^\circ\text{C}$. Sampel yang masih berbentuk granular tersebut kemudian digerus supaya menjadi berbentuk serbuk supaya luas area permukaannya dapat menjadi lebih besar (Sontheimer, 1985). Gambar di bawah ini menunjukkan hasil akhir karbon aktif setelah dicuci dan dikeringkan untuk masing-masing sampel:



Gambar 4- 4. Sampel Akhir Karbon Aktif



4.2 HASIL UJI BET

Uji ini dilakukan untuk mengetahui luas area permukaan sampel karbon aktif yang didapatkan dari hasil penelitian. Luas area permukaan merupakan suatu parameter yang penting dalam penentuan baik atau tidaknya suatu adsorben, dalam hal ini karbon aktif. Hal ini disebabkan karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi. Secara teori, semakin besar luas area permukaan suatu adsorben, maka kapasitas/daya adsorpsi juga semakin besar. (Sontheimer, 1985)

Uji luas area permukaan dilakukan dengan Autosorb 6B buatan Quantachrome Corporation. Uji ini menggunakan Nitrogen sebagai adsorbatnya. Uji luas area permukaan ini dilakukan di laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Konversi Gas Alam (RRK-KGA) di Departemen Teknik Kimia UI. Sampel yang diuji antara lain tempurung kelapa (bahan dasar karbon aktif), karbon aktif dengan temperatur aktivasi 500 °C, dan karbon aktif dengan temperatur aktivasi 600 °C. Tabel di bawah ini adalah hasil uji BET dari ketiga sampel tersebut:

Tabel 4- 1. Hasil Uji BET

Karakteristik	Sampel		
	Tempurung Kelapa	Karbon Aktif (T aktivasi = 500 °C)	Karbon Aktif (T aktivasi = 600 °C)
Luas area permukaan	0 m ² /g	300 m ² /g	111,9 m ² /g
Volume total pori-pori	0,001007 cm ³ /g	0,09299 cm ³ /g	0,03013 cm ³ /g
Diameter rata-rata pori	19,2 Å	70,78 Å	80,8 Å

Dari data tersebut, terlihat bahwa sampel karbon aktif dengan suhu aktivasi 500 °C hanya mempunyai luas area permukaan yang sangat kecil (300 m²/gram). Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada suhu 500 °C proses aktivasi belum terjadi secara sempurna sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk mengaktifkan karbon berbahan dasar tempurung kelapa. Oleh karena itu, dicoba proses aktivasi dengan suhu 600 °C. Namun, hasil luas area permukaan yang didapat lebih kecil (111,9 m²/gram). Secara teori, seharusnya luas area permukaan

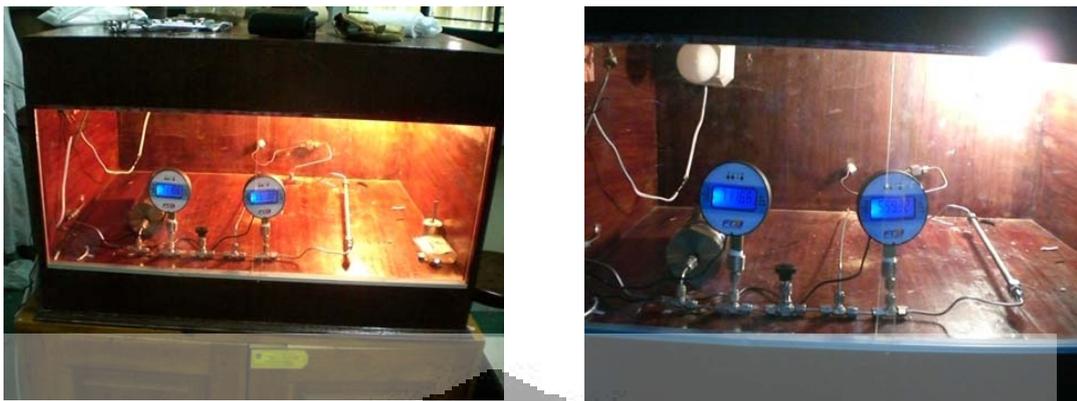


pada aktivasi dengan suhu yang lebih tinggi akan lebih tinggi karena pori-pori yang terbentuk lebih banyak (Garcia-Garcia et al., 2002). Hal ini mengindikasikan bahwa uji luas area permukaan dengan nitrogen BET kurang bisa merepresentasikan kapasitas adsorpsi yang sebenarnya pada sampel karbon aktif pada penelitian ini sehingga ada kemungkinan terjadi kesalahan (Gultom, 1998). Oleh karena itu, dilakukan uji daya adsorpsi dengan CO₂ untuk mengetahui kapasitas adsorpsi serta luas area permukaan yang sebenarnya.

Pada penelitian ini karbon aktif di kedua sampel (karbon aktif dengan aktivasi 500 °C dan karbon aktif dengan aktivasi 600 °C) telah terbentuk. Hal ini ditinjau dari perbedaan luas area permukaan yang cukup signifikan antara sampel karbon aktif dengan bahan dasarnya.

4.3 HASIL UJI DAYA ADSORPSI

Uji daya adsorpsi dilakukan dengan menggunakan kedua sampel karbon aktif yang dihasilkan dari penelitian. Sebelum dilakukan *running* untuk uji adsorpsi dengan CO₂, perlu dilakukan kalibrasi untuk *void volume* dengan menggunakan gas Helium. Gas Helium dipakai untuk menghitung *void volume* karena gas Helium tidak teradsorpsi oleh karbon aktif (http://www.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t/node21.htm, 2002). Helium tidak teradsorpsi oleh karbon aktif karena diameter molekulnya (kurang dari 1 Å) jauh lebih kecil daripada pori-pori karbon aktif, bahkan untuk mikropori yang berdiameter kurang dari 20 Å sekalipun (http://mimp.mems.cmu.edu/~ordofmag/orders_of_magnitude.htm, 2004; Yang, 1997). Daya adsorpsi diuji dengan menggunakan alat seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 4- 5. Alat untuk Uji Daya Adsorpsi

4.3.1 Hasil Persiapan Peralatan Uji Adsorpsi

Alat tersebut disusun seperti pada Gambar 4-5. Setelah terpasang, kemudian dicek kebocorannya supaya bila terjadi kebocoran bisa langsung diatasi. Kebocoran selain berpengaruh terhadap proses adsorpsi, juga bisa membahayakan lingkungan serta peneliti dan orang yang ada di laboratorium. Uji kebocoran dilakukan pada tekanan sekitar 600 psi.

4.3.2 Hasil Kalibrasi Volume *Dozing Cylinder*

Volume *dozing cylinder* diukur dengan memasukkan air ke *dozing cylinder* sampai penuh. Setelah penuh air dari *dozing cylinder* dimasukkan ke gelas ukur untuk mengetahui volume yang masuk ke *dozing cylinder*.

Volume *dozing cylinder* yang didapat adalah 486 mL. Volume tersebut belum termasuk volume pipa-pipa yang ada dalam 1 set alat adsorpsi ini. Adapun volume total dari pipa-pipa tersebut adalah 0,7283 mL. Jika dijumlahkan antara volume *dozing cylinder* dengan volume pipa-pipa tersebut, maka didapat volume 486,7283 mL.



4.3.3 Hasil Kalibrasi Void Volume

Untuk mengetahui *Helium void volume* dilakukan 4 kali *running* supaya data *void volume* yang didapat lebih akurat. *Helium void volume* dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$V_{void} = \frac{n_i Z_{He, sf} RT}{P_{sf}} \quad (4.4)$$

dengan

$$n_i = \left(\frac{P_{di}}{Z_{He, di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{He, df} RT} \right) V_{dozing\ cylinder} \quad (4.5)$$

dimana n_i = jumlah mol He yang diinjeksikan ke *sampling cylinder*

P_{di} = tekanan *dozing cylinder* awal

P_{df} = tekanan *dozing cylinder* akhir

T = temperatur = 30 °C = 86 °F

$Z_{He, di}$ = faktor kompresibilitas pada kondisi P_{di} dan T

$Z_{He, df}$ = faktor kompresibilitas pada kondisi P_{df} dan T

Sampel karbon aktif yang dimasukkan ke dalam *sampling cylinder* memiliki massa 11,443 gram. Tabel berikut ini menunjukkan data hasil *running* untuk mencari *Helium void volume* untuk sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C:

Tabel 4- 2. Data *Running* Kalibrasi *Helium Void Volume* untuk Sampel 600 °C

P Dozing Awal (psia)	P Dozing Akhir (psia)	P Sampling Awal (psia)	P Sampling Akhir (psia)	Void Volume (mL)
1272	1255	14,7	370,53	20,81
1255	1234,95	370,53	440,69	20,75
1234,95	1207,54	440,69	612,63	20,69
1207,54	1165,5	612,63	944,97	20,55
Average				20,70



Dari hasil data di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *void volume* untuk sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C adalah 20,70 mL. *Void volume* ini adalah rata-rata *void volume* dari setiap *running*.

Sampel karbon aktif dengan aktivasi 500 °C yang dimasukkan ke dalam *sampling cylinder* adalah 11,8983 gram. Data hasil *running* untuk mencari *Helium void volume* untuk sampel karbon aktif ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4- 3. Data *Running Kalibrasi Helium Void Volume* untuk Sampel 500 °C

P Dozing Awal (psia)	P Dozing Akhir (psia)	P Sampling Awal (psia)	P Sampling Akhir (psia)	Void Volume (mL)
1129,63	1122,13	14,7	204,47	16,73
1112,13	1106,91	204,47	417,97	16,73
1106,91	1082,09	417,97	702,63	16,40
1082,09	1046,13	702,63	1011,52	16,70
Average				16,64

Dari hasil data di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *void volume* untuk sampel karbon aktif dengan aktivasi 500 °C adalah 16,64 mL.

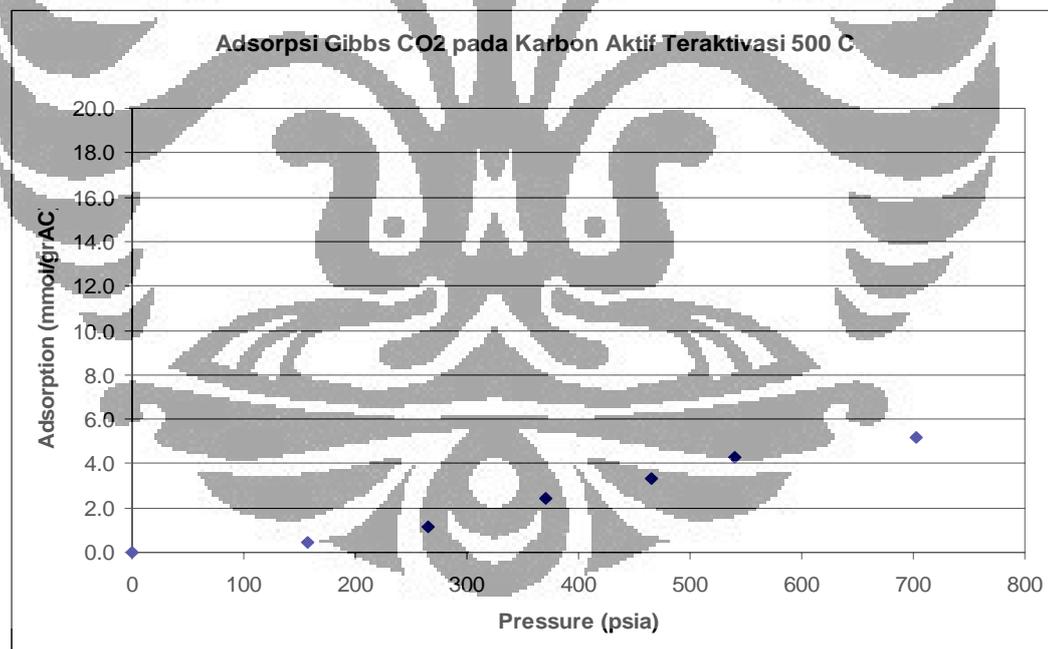
Volume void dari sampel karbon aktif dengan suhu aktivasi 600 °C lebih besar daripada sampel dengan suhu aktivasi 500 °C. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun massa karbon aktif yang dimasukkan ke *sampling cylinder* relatif sama (11,8983 gram untuk sampel 500 °C dan 11,443 gram untuk sampel 600 °C), namun volume void yang didapat relatif berbeda (16,64 mL untuk sampel 500 °C dan 20,70 untuk sampel 600 °C). Hal ini disebabkan karena pori-pori yang terbentuk pada karbon aktif dengan aktivasi 500 °C lebih sedikit sehingga volume porinya juga akan lebih kecil. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi suhu maka semakin banyak bahan dasar yang terbakar dan semakin banyak pori-pori yang terbentuk (Garcia-Garcia et al., 2002). Menurut persamaan 3.1 volume pori karbon aktif berbanding lurus dengan *volume void*. Jika diasumsikan bahwa volume *sampling cylinder* dan volume ruang yang terisi karbon aktif tetap, maka volume void untuk karbon aktif dengan aktivasi 600 °C akan lebih besar karena volume pori-pori karbon aktif dengan aktivasi 600 °C lebih besar daripada karbon

aktif dengan aktivasi 500 °C. Hal tersebut bisa terjadi karena karbon aktif dengan aktivasi 600 °C pori-pori yang terbentuk lebih banyak daripada karbon aktif dengan aktivasi 500 °C.

4.3.4 Hasil Uji Daya Adsorpsi Karbon Aktif dengan Adsorbat CO₂

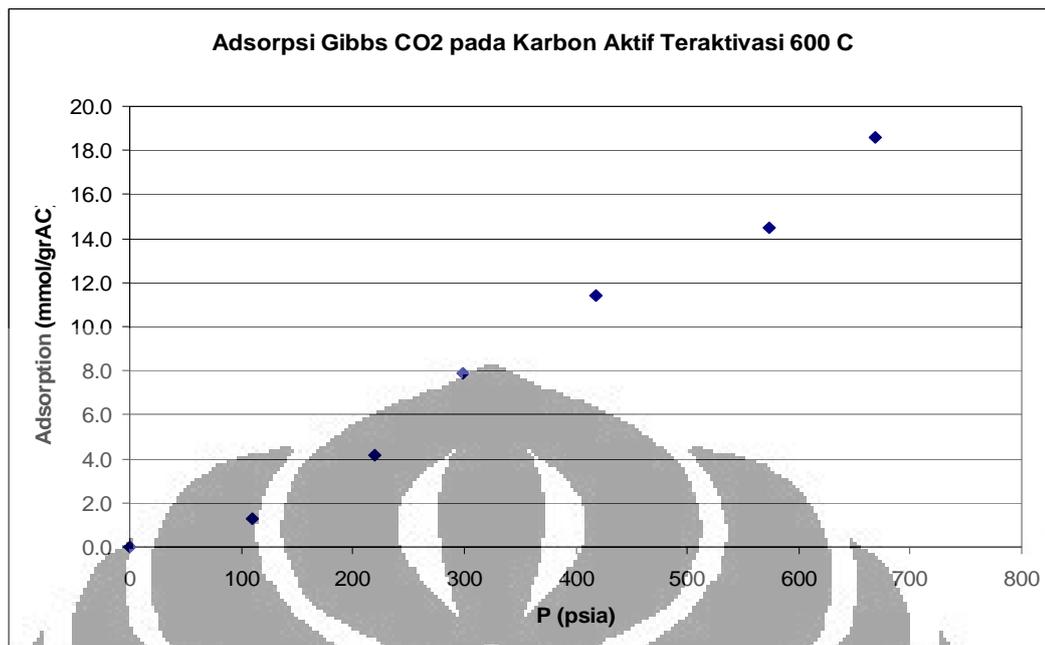
Adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisis dimana tidak terjadi reaksi kimia selama adsorpsi berlangsung. Jadi, proses adsorpsi hanya bergantung kepada ukuran molekul adsorbat (CO₂) dan ukuran pori-pori adsorben (karbon aktif) serta interaksi antar molekul adsorben dengan adsorbat (gaya Van der Waals). Data hasil penelitian uji adsorpsi untuk masing-masing sampel karbon aktif dapat dilihat di Lampiran 1 dan Lampiran 2.

Gambar 4-6 menunjukkan data jumlah CO₂ yang teradsorpsi dengan menggunakan sampel karbon aktif dengan aktivasi 500 °C pada tekanan tertentu:



Gambar 4- 6. CO₂ Teradsorpsi pada 30 °C dengan Sampel Teraktivasi 500 °C

Gambar 4-7 di bawah ini menunjukkan data jumlah CO₂ yang teradsorpsi dengan menggunakan sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C pada tekanan tertentu:



Gambar 4- 7. CO₂ Teradsorp pada 30 °C dengan Sampel Teraktivasi 600 °C

Dari grafik tersebut terlihat bahwa jumlah CO₂ yang teradsorp dengan sampel karbon aktif 600 °C jauh lebih besar daripada dengan sampel karbon aktif 500 °C. Hal ini disebabkan karena secara teoritis jumlah pori-pori yang terbentuk dari karbon aktif dengan aktivasi 600 °C lebih banyak daripada pori-pori karbon aktif dengan aktivasi 500 °C. Jumlah pori-pori karbon aktif dengan aktivasi 600 °C lebih banyak karena suhu aktivasinya lebih tinggi. Suhu aktivasi yang lebih tinggi akan lebih memicu proses pembakaran karbon aktif sehingga dapat meningkatkan porositas, jumlah pori, serta luas permukaan (Garcia-Garcia et al., 2002). Proses pembakaran yang diharapkan pada pembuatan karbon aktif ini bukanlah proses yang membakar bahan dasar sehingga bahan dasar tersebut hilang. Proses pembakaran ditujukan supaya bisa membentuk pori-pori lebih banyak sehingga akan meningkatkan porositas dan luas permukaan karbon aktif (Yang, 1997). Oleh karena itu, pada proses pembuatan karbon aktif dialirkan gas nitrogen untuk mengkondisikan proses bebas dari gas oksigen yang dapat membakar karbon secara tidak terkontrol dan yang membakar adalah larutan KOH 65% supaya proses pembakaran lebih terkontrol dan bisa membentuk pori-pori yang lebih banyak (Garcia-Garcia et al., 2002).



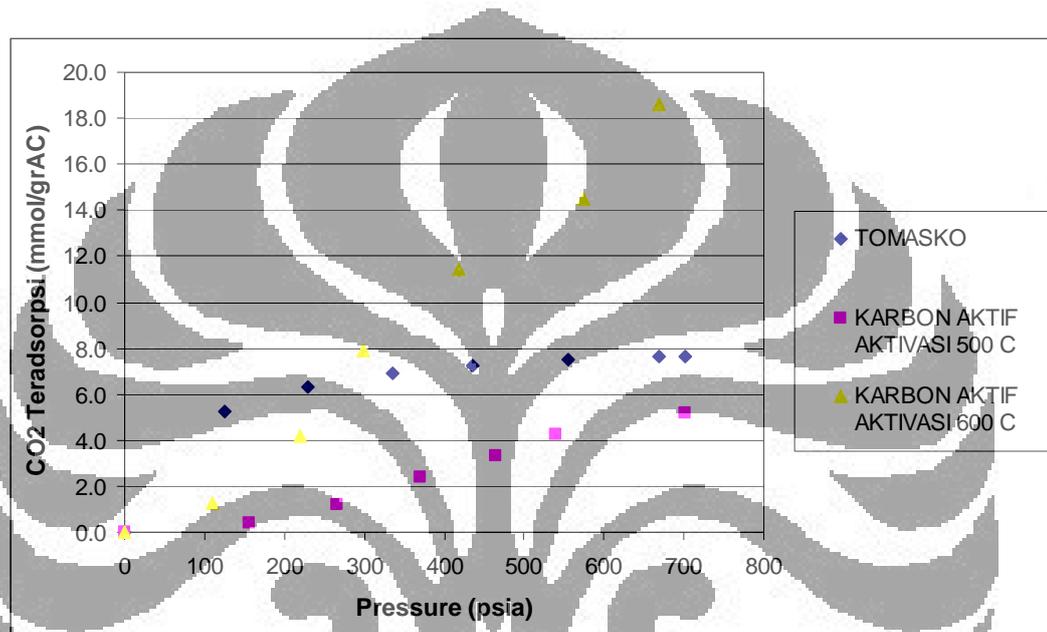
Dari grafik di atas baik dengan karbon aktif sampel 500 °C maupun 600 °C terlihat bahwa semakin tinggi tekanan di *sampling cylinder*, semakin tinggi pula jumlah CO₂ yang diadsorpsi oleh karbon aktif. Namun, sebenarnya jika tekanan bisa ditingkatkan maka secara teoritis akan terlihat jumlah CO₂ yang teradsorpsi akan menurun pada tekanan tertentu. Hal ini disebabkan karena dalam hal ini adsorpsi yang dipakai adalah adsorpsi Gibbs dimana pada adsorpsi ini jumlah gas yang telah teradsorpsi terlebih dahulu di adsorben tidak diperhitungkan. Selain itu, pada tekanan rendah, densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada densitas adsorpsi) sehingga $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ bisa dianggap nol dan n_{Gibbs} sama dengan $n_{absolute}$ sehingga n_{Gibbs} terus mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tekanan. Namun, pada tekanan tinggi, $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ tidak bisa dianggap nol sehingga nilai n_{Gibbs} akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan walaupun harga $n_{absolute}$ cenderung konstan. Jadi, ada tekanan dimana jumlah CO₂ yang teradsorpsi paling tinggi. (http://www.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t/node20.htm, 2002). Pada penelitian ini tekanan yang digunakan tidak bisa lebih dari 700 psi karena kemampuan dari CO₂ yang tersedia di laboratorium paling besar adalah 700 psi. Data densitas gas dari hasil penelitian untuk masing-masing sampel karbon aktif dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

Pada sampel karbon aktif dengan aktivasi 500 °C diperoleh data daya adsorpsi yaitu 4,27 mmol/grAC pada tekanan 540,58 psia. Pada sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C diperoleh data daya adsorpsi yaitu 14,48 mmol/grAC pada tekanan 574,02 psia. Hal ini semakin menunjukkan bukti bahwa daya adsorpsi untuk sampel karbon aktif 600 °C jauh lebih kuat. Perbedaan tersebut sangat jauh sekali dan berarti juga luas area permukaan antara kedua sampel sangat jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu 500 °C proses aktivasi belum berjalan secara sempurna sehingga membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk proses aktivasi tersebut. Pada 600 °C proses aktivasi sudah berjalan sehingga sampel karbon aktif yang didapatkan dari proses aktivasi pada suhu 600 °C ini memiliki daya adsorpsi yang lebih besar. Jika suatu adsorben memiliki daya



adsorpsi yang lebih besar maka luas area permukaannya juga akan lebih besar (Sontheimer, 1985).

Tomasko (2001) juga melakukan penelitian adsorpsi CO₂ dengan menggunakan karbon aktif pada berbagai macam temperatur, termasuk pada 30 °C. Luas area permukaan karbon aktif yang digunakan pada penelitian Tomasko (2001) adalah 850 m²/gr.



Gambar 4- 8. Perbandingan Daya Adsorpsi CO₂ Hasil Penelitian dengan Hasil Penelitian Tomasko

Gambar 4-8 menunjukkan perbandingan jumlah CO₂ teradsorpsi antara hasil penelitian Tomasko dengan hasil penelitian ini pada temperatur yang sama. Jika dibandingkan antara data penelitian Tomasko (2001) dengan data uji adsorpsi CO₂ dengan sampel karbon aktif 500 °C, maka terdapat perbedaan jumlah CO₂ teradsorpsi pada tekanan yang hampir sama. Pada sampel karbon aktif 500 °C jumlah CO₂ yang teradsorpsi pada tekanan 702,63 psia atau 4,84 MPa adalah 5,18 mmol/grAC. Pada penelitian Tomasko (2001) pada tekanan 702,63 psia atau 4,84 MPa didapat daya adsorpsi karbon aktif terhadap CO₂ adalah 7,62 mmol/grAC. Hal ini menunjukkan bahwa luas area permukaan karbon aktif pada sampel 500 °C kemungkinan lebih kecil daripada sampel karbon aktif yang digunakan pada penelitian Tomasko yang memiliki luas area permukaan 850 m²/grAC karena



semakin besar daya adsorpsinya maka luas area permukaan juga semakin besar (Sontheimer, 1985).

Dengan sampel karbon aktif 600 °C, maka data daya adsorpsinya lebih tinggi daripada hasil penelitian Tomasko. Pada tekanan dan temperatur adsorpsi yang hampir sama (sekitar 4,61 MPa atau 668,624 psia, 30 °C), hasil yang didapat dari penelitian dengan sampel karbon aktif 600 °C adalah 18,59 mmol/grAC dan hasil dari penelitian Tomasko adalah 7,61 mmol/grAC. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C kemungkinan mempunyai luas area permukaan yang lebih besar serta pori-pori yang lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif dari hasil penelitian Tomasko. Oleh karena itu, kemungkinan luas area permukaan karbon aktif dengan aktivasi 600 °C lebih besar dari karbon aktif hasil penelitian Tomasko (850 m²/grAC) (Sontheimer, 1985). Hal ini semakin menguatkan bukti bahwa uji luas area permukaan dengan N₂ BET kemungkinan terjadi kesalahan seperti yang telah disebutkan pada sub bab 4.2 (Gultom, 1998). Sementara itu, daya adsorpsi maksimum dari sampel karbon aktif dengan aktivasi 600 °C adalah 18,59 mmol/grAC pada tekanan 668,91 psia atau 4,61 MPa. Namun, pada kenyataannya hal ini belum tentu daya adsorpsi yang maksimum karena tekanan maksimum yang tersedia di laboratorium adalah 700 psi, sehingga kita tidak bisa melihat titik maksimum dari daya adsorpsi karena tekanannya perlu ditambah. Pada adsorpsi Gibbs, akan ada titik pada tekanan tertentu dimana daya adsorpsinya maksimum dan dengan tekanan yang lebih besar dari tekanan tersebut daya adsorpsinya akan menurun. Jadi, untuk sampel karbon aktif ini masih mungkin untuk titik maksimum daya adsorpsinya di atas 18,59 mmol/grAC dengan menambahkan tekanan di *sampling cylinder* (http://www.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t/node20.htm, 2002). Namun, di lain pihak jika tekanan ditambahkan sampai di atas tekanan kritis CO₂ (1068,93 psi) dengan temperatur adsorpsi 30 °C, maka data akan kacau karena jika di atas tekanan kritis dengan temperatur 30 °C (di bawah temperatur kritis 30,975 °C) CO₂ pada fasa gas akan memiliki sifat yang sama seperti pada fasa cair (Donohue dan Aranovich, 1999). Pada penelitian Tomasko, daya adsorpsi maksimum (13,38 mmol/grAC) dicapai ketika tekanan 1061,97 psia.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Karbon aktif pada kedua sampel yang dihasilkan dari penelitian telah terbentuk, ditinjau dari perbedaan yang signifikan antara luas permukaan kedua sampel karbon aktif dengan bahan dasarnya. Luas area permukaan yang didapat dari uji BET adalah:

Karakteristik	Sampel		
	Tempurung Kelapa	Karbon Aktif (T aktivasi = 500 °C)	Karbon Aktif (T aktivasi = 600 °C)
Luas area permukaan	0 m ² /g	300 m ² /g	111,9 m ² /g
Volume total pori-pori	0,001007 cm ³ /g	0,09299 cm ³ /g	0,03013 cm ³ /g
Diameter rata-rata pori	19,2 Å	70,78 Å	80,8 Å

2. Hasil uji daya adsorpsi dengan gas CO₂ menunjukkan bahwa pada tekanan yang hampir sama daya adsorpsi dari karbon aktif dengan aktivasi 600 °C jauh lebih besar sekitar 3,4 kali lipatnya daripada daya adsorpsi karbon aktif dengan aktivasi 500 °C. Oleh karena itu, luas area permukaan karbon aktif dengan aktivasi 600 °C juga lebih besar daripada karbon aktif dengan aktivasi 500 °C. Hal ini bertolak belakang dengan hasil yang didapatkan dari Uji BET.
3. Pada tekanan yang hampir sama, jumlah CO₂ teradsorpsi dari karbon aktif dengan aktivasi 600 °C yang didapatkan dari hasil penelitian ini lebih besar daripada hasil penelitian Tomasko dengan luas permukaan karbon aktif 850 m²/grAC sehingga diperkirakan luas area permukaan karbon aktif dengan aktivasi 600 °C yang didapatkan dari hasil penelitian ini juga kemungkinan lebih besar daripada hasil penelitian Tomasko.



4. Penelitian ini dilakukan pada tekanan adsorpsi sampai sekitar 700 psi. Pada penelitian ini, semakin tinggi tekanan jumlah CO₂ yang teradsorpsi juga akan semakin tinggi. Namun, pada adsorpsi Gibbs terdapat jumlah CO₂ yang teradsorpsi maksimum pada tekanan tertentu sehingga jika dinaikkan lagi tekanannya jumlah CO₂ yang teradsorpsi akan menurun.
5. Uji BET dengan adsorbat nitrogen kurang bisa merepresentasikan kapasitas adsorpsi yang sebenarnya pada penelitian ini sehingga adsorbat perlu diganti zat lain, dalam hal ini CO₂.

5.2 SARAN

Untuk penelitian sejenis yang akan datang, penulis menyarankan supaya peneliti selanjutnya melakukan penelitian untuk uji daya adsorpsi pada tekanan yang lebih tinggi sehingga jumlah CO₂ yang teradsorpsi maksimum serta densitas gas maksimum bisa terlihat. Jika dilakukan pada tekanan lebih tinggi maka temperatur proses adsorpsi juga harus ditingkatkan supaya tidak melewati titik kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2002). *Adsorption at the Solid/Gas Interface*, available from URL: http://www.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t/node20.htm, diakses: 22 Mei 2007.
- Anonim. (2003). *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa*, available from URL: www.warintek.net/arang_aktif.htm, diakses: 28 Februari 2006.
- Anonim. (2004). *Size of a Gas Molecule*, available from URL: http://mimp.mems.cmu.edu/~ordofmag/orders_of_magnitude.htm, diakses: 23 Mei 2007.
- Bahl, B.S., Tuli, G.D., dan Bahl, A. (1997). *Essential of Physical Chemistry*, New Delhi, S. Chand and Company, Ltd.
- Bond, G.C. (1987). *Heterogeneous Catalysis, Principles and Application*, Oxford, Clarendon Press.
- Criscone, J.M. (1993). *Activated Carbon*, UCAR Carbon Company Inc.
- Ding, L.P., dan Bhatia, S.K. (2003). 'Analysis of Multicomponent Adsorption Kinetics on Activated Carbon', *AIChE Journal*, vol. 49, no. 4, pp. 883-895.
- Donohue, M.D., Aranovich, G.L. (1999). 'A New Classification of Isotherms for Gibbs Adsorption of Gases on Solids', *Fluid Phase Equilibria Journal*, vol. 158, no. 1, pp. 557-563.
- Farris, T.S., Coe, C.G., Armor, J.N., dan Schork, J.M. (1992). *High Capacity Coconut Shell Char for Carbon Molecular Sieves*, available from URL: www.freepatentsonline.com, diakses: 30 Maret 2006.
- Garcia-Garcia, A., Gregorio, A., Boavida, D., dan Gulyurtlu, I. *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.
- Goodman, A.L., Busch, A., Duffy, G.J., Fitzgerald, J.E., Gasem, K.A.M., Gensterblum, Y., Krooss, B.M., Levy, J., Ozdemir, E., Pan, Z., Robinson Jr, R.L., Schroeder, K., Sudibandriyo, M., dan White, C.M. (2004). 'An Inter-

- laboratory Comparison of CO₂ Isotherms Measured on Argonne Premium Coal Samples', *Energy and Fuels Journal*, vol. 18, no. 4, pp.1175-1182.
- Gultom, F.K. (1998). *Aplikasi Karbon Aktif dalam Pengendalian Mutu Volatile Organic Compound (VOC) melalui Proses Adsorpsi dalam Unggun Tetap*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia FTUI, pp. 21.
- Herawaty, E. (1993). *Sifat-Sifat Permukaan dan Proses Katalisis*, Depok, Jurusan Gas dan Petrokimia FTUI.
- Maron, S.H., dan Lando, J. (1974). *Fundamentals of Physical Chemistry*, New York, Macmillan Publishing Co. Inc.
- Mc.Cabe, W.L., Smith, J.C., dan Harriot, P. (1999). *Operasi Teknik Kimia*, Penerbit Erlangga, Jakarta, jilid 2, edisi 4, pp. 229-236.
- McKay dan Roberts. (1982). *Carbon*, vol. 20, no.2, pp.105.
- Mulyati, S. (2006). *Potensi Batubara Lokal dengan Perlakuan sebagai Adsorben untuk Penangan Limbah Cair Benzena dan Toluena*, Skripsi, Depok, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia FTUI.
- Ruthven, D.M. (1993). *Adsorption, Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley Inter Science, vol. 1, 4th edition.
- Sudibandriyo, M. (2003). *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben*, Ph.D Dissertation, Oklahoma State University
- Sontheimer, J.E. (1985). *Activated Carbon for Water Treatment*, Netherlands, Elsevier, pp. 51-105.
- Sundstrom, D.W., dan Herbert, E.K. (1979). *Waste Water Treatment*, Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Treybal, R.E. (1980). *Mass Transfer Operation*, Singapore, McGraw Hill, third edition.
- Yang, R.T. (1997). *Gas Separation by Adsorption Process*, London, Imperial College Press.
- Walas, S.M. (1990). *Chemical Process Equipment*, Massachusetts, Butterworth-Heinemann, pp. 495-501.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penelitian Uji Daya Adsorpsi dengan Sampel Karbon Aktif Aktivasi 500 °C

Karbon Aktif Tempurung Kelapa (Aktivasi 500 °C)

T Ads= 86 °F
 Massa AC = 11.8983 gram
 V Dozing Cyl = 486.7283 mL
 V Void = 16.64 mL

R, gas constant 669.9543 (psi cm³)/(mol °R)

P Dozing Cyl Awal (psia)	P Dozing Cyl Akhir (psia)	P Sampling Cyl (psia)	Z Dozing Cyl Awal	Z Dozing Cyl Akhir	Z Sampling Cyl	Densitas CO ₂ (gr/cm ³)	n injeksi (mol)	n unadsorp (mol)	n adsorp (mol)	n Gibbs (mmol/grAC)
0	0	0	N/A	N/A	N/A	0	0	0	0	0
204.47	196.35	157.03	0.930472	0.933724	0.947714	0.019943	0.012597	0.007541	0.005055	0.424895
346.8	338.1	265.64	0.878311	0.880790	0.907717	0.035222	0.027228	0.013320	0.013907	1.168884
455.41	444.69	370.53	0.834103	0.838413	0.867519	0.051407	0.047989	0.019441	0.028547	2.399321
536.58	528.86	465.41	0.798215	0.801754	0.829368	0.0675	0.064759	0.025542	0.039217	3.296028
655.19	648.47	540.58	0.741465	0.744547	0.796398	0.0817	0.081645	0.030896	0.050749	4.265268
702.63	693.91	702.63	0.717532	0.722213	0.717760	0.117821	0.106171	0.044557	0.061613	5.178374

Lampiran 2. Data Penelitian Uji Daya Adsorpsi dengan Sampel Karbon Aktif Aktivasi 600 °C

Karbon Aktif Tempurung Kelapa (Aktivasi 600 °C)

T Ads= 86 °F
 Massa AC = 11.443 gram
 V Dozing Cyl = 486.7283 mL
 V Void = 20.7 mL

R, gas constant 669.9543 (psi cm³)/(mol °R)

P Dozing Cyl Awal (psia)	P Dozing Cyl Akhir (psia)	P Sampling Cyl (psia)	Z Dozing Cyl Awal	Z Dozing Cyl Akhir	Z Sampling Cyl	Densitas CO ₂ (gr/cm ³)	n injeksi (mol)	n unadsorp (mol)	n adsorp (mol)	n Gibbs (mmol/grAC)
0	0	0	N/A	N/A	N/A	0	0	0	0	0
228.19	214.7	109.75	0.921984	0.926853	0.963566	0.013709	0.021109	0.006449	0.01466	1.281129
323.08	299.36	219.7	0.88663	0.895658	0.925053	0.028585	0.06126	0.013448	0.047812	4.178274
417.97	392.2	299.35	0.84906	0.859509	0.895662	0.040227	0.109146	0.018925	0.090222	7.884435
512.86	489.14	417.97	0.808751	0.81912	0.84906	0.059249	0.158389	0.027874	0.130515	11.40568
726.36	709.7	574.02	0.703291	0.712534	0.780974	0.088464	0.207358	0.041618	0.165739	14.4839
726.36	704.7	668.91	0.703291	0.712534	0.715266	0.112558	0.265669	0.052954	0.212715	18.5891