



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UJI KAPASITAS ADSORPSI KARBON AKTIF DARI  
BATUBARA DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK  
PENYIMPANAN GAS HIDROGEN DAN METANA**

**SKRIPSI**

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

**RAHMAWATI LESTARI  
0606076715**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

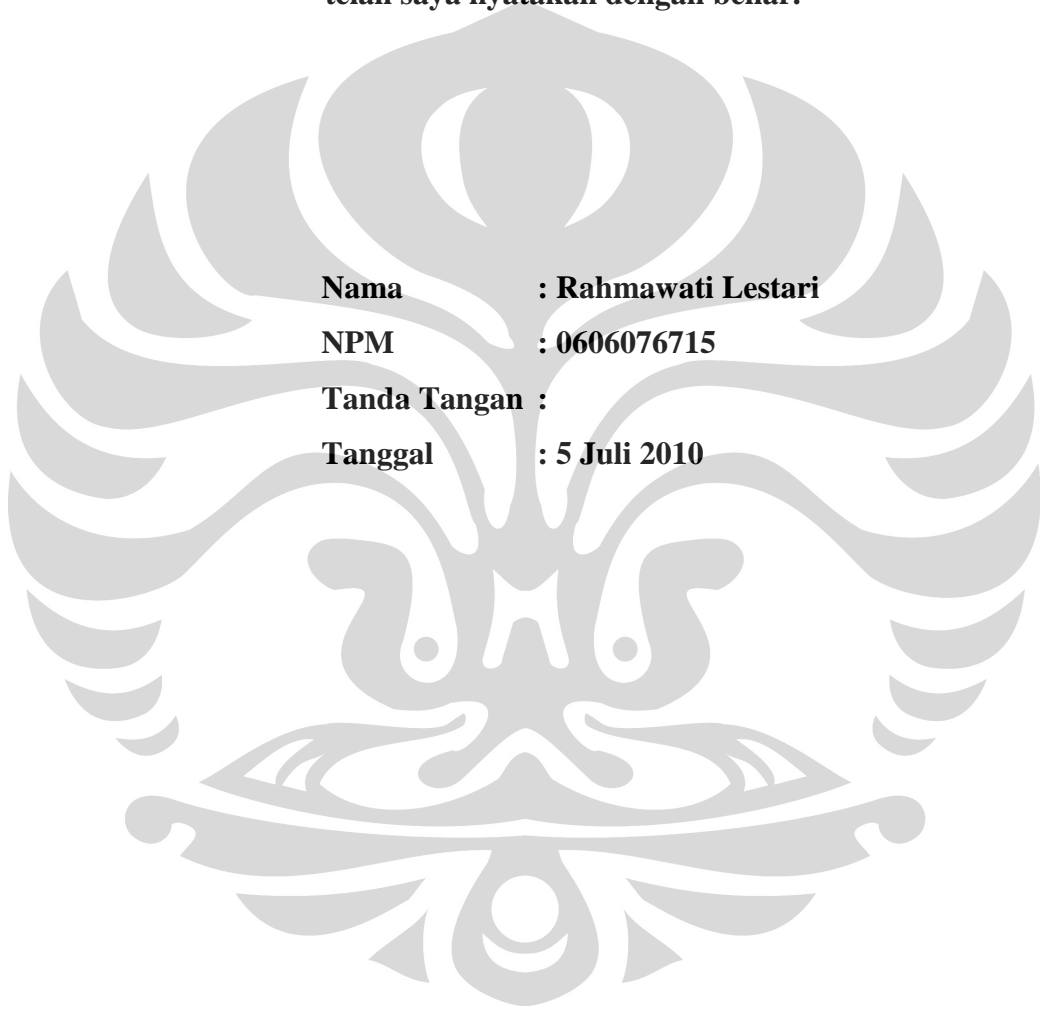
**Skripsi ini adalah karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Rahmawati Lestari**

**NPM : 0606076715**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 5 Juli 2010**





**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rahmawati Lestari  
NPM : 0606076715  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Uji Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Batubara dan Tempurung Kelapa untuk Penyimpanan Gas Hidrogen dan Metana.

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

**DEWAN PENGUJI**

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., PhD. ( )  
Penguji I : Ir. Praswasti PDK Wulan, MT. ( )  
Penguji II : Ir. Dijan Supramono, M.Sc. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

*Bismillah,*

*Alhamdulillah*, Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian dan skripsi ini. Penelitian ini kami beri judul “Uji Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Batubara dan Tempurung Kelapa untuk Penyimpanan Gas Hidrogen dan Metana”. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat Indonesia.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, serta untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

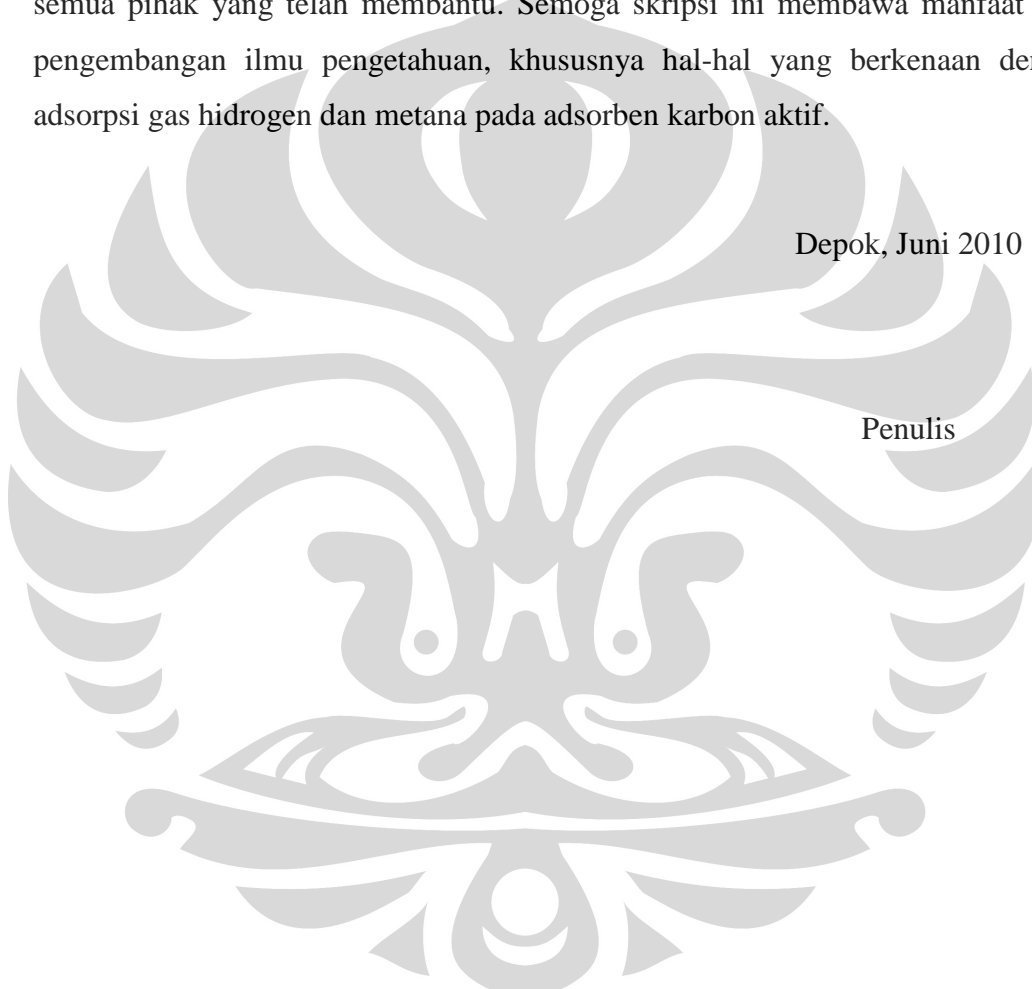
1. Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., PhD., selaku pembimbing I atas bimbingan dan masukan yang diberikan kepada penulis, serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Bapak Ir. Slamet M.T., selaku pembimbing akademis.
3. Mama tercinta atas pengorbanan, kasih sayang, dan perhatian, sehingga penulis mampu menyelesaikan program sarjana.
4. Bapak tersayang atas dorongan menjadi orang yang lebih kuat dari hari ke hari.
5. Bapak dan Ibu, serta keluarga besar Joko T. Sunaryo di Cibubur.
6. Suami tercinta, atas semua dorongan semangat dan bantuan yang diberikan selama ini.
7. Teman seperjuangan penulis, Kak Prolesara yang setia menemani penulis serta banyak memberikan masukan pada penulis selama proses pembuatan skripsi ini.

8. Kak Puji yang telah menyediakan sampel dan data yang penulis perlukan selama penelitian.
9. Rekan-rekan Teknik Kimia khususnya angkatan 2006 yang telah mengisi keseharian penulis.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Allah berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya hal-hal yang berkenaan dengan adsorpsi gas hidrogen dan metana pada adsorben karbon aktif.

Depok, Juni 2010

Penulis



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

---

---

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

Nama : Rahmawati Lestari  
NPM : 0606076715  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

Uji Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Batubara  
untuk Penyimpanan Gas Hidrogen dan Metana

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 5 Juli 2010  
Yang menyatakan

(Rahmawati Lestari)

## ABSTRAK

Nama : Rahmawati Lestari  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Uji Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif dari Batubara Dan Tempurung Kelapa Untuk Penyimpanan Gas Hidrogen Dan Metana

Sebelum penggunaan bahan bakar hidrogen dan metana dapat diaplikasikan secara luas, metode penyimpanan yang efektif untuk gas-gas tersebut juga harus dikembangkan. Penyimpanan dalam bentuk *compressed gas* dan gas cair kriogenik masih mengalami berbagai kendala baik dari segi ekonomis maupun segi teknis. Penggunaan karbon aktif untuk menyimpan hidrogen dan metana teradsorpsi memungkinkan diperolehnya performa *storage* yang kompetitif dengan CNG pada tekanan rendah. Hal tersebut dapat mengurangi tekanan dan masalah dalam hal logistik.

Pada penelitian ini digunakan karbon aktif untuk mengadsorpsi gas metana dan hidrogen. Karbon aktif yang digunakan berasal dari bahan baku tempurung kelapa dan batubara dengan variasi perbandingan *activating reagent* KOH terhadap bahan baku yang digunakan dan suhu aktivasi. Uji adsorpsi dilakukan pada karbon aktif yang dibuat di Departemen Teknik Kimia UI yang terdiri dari empat macam adsorben, yaitu karbon aktif dari batubara dengan perbandingan KOH/bahan baku = 4/1 yang diaktivasi pada suhu 900°C (BB, 4:1, 900), karbon aktif dari tempurung kelapa dengan perbandingan KOH/bahan baku = 4/1 yang diaktivasi pada suhu 700°C (ATK, 4:1, 700), karbon aktif dari tempurung kelapa dengan perbandingan KOH/bahan baku = 3/1 yang diaktivasi pada suhu 700°C (ATK, 3:1, 700), dan karbon aktif dari batubara dengan perbandingan KOH/bahan baku = 3/1 yang diaktivasi pada suhu 700°C (BB, 3:1, 700). Uji kapasitas adsorpsi karbon aktif dilakukan terhadap adsorbat gas hidrogen dan metana pada tekanan yang bervariasi pada kisaran 0 - 900 Psia dalam kondisi isothermal (25° C).

Hasil yang diperoleh adalah daya adsorpsi karbon aktif terhadap metana lebih tinggi dibandingkan daya adsorpsinya terhadap hidrogen. Pada tekanan sekitar 900 psia, karbon aktif ATK, 4:1, 700 memiliki kapasitas adsorpsi yang paling tinggi dibandingkan tiga adsorben lainnya yang digunakan, yaitu dapat mengadsorpsi sebanyak 2.8 mmol gas metana per gram karbon aktif dan sekitar 0.6 mmol gas hidrogen per gram karbon aktif.

**Kata Kunci:** *Adsorpsi, Karbon Aktif, Batubara, Tempurung Kelapa, Hidrogen, Metana.*

## ABSTRACT

Name : Rahmawati Lestari  
Major Study : Chemical Engineering  
Title : Adsorption Capacity Measurement of Activated Carbon from  
Coal and Coconut Shell for Hydrogen and Methane Storage

*Before hydrogen and methane can widely used as fuels, an effective storing method for these gases have to be developed. Compressed gas and criogenic liquid gas method were still have difficulties, technically and economically. The used of activated carbon as hydrogen and methane storage by adsorption method can performs a competitive method than CNG at lower pressure.*

*In this experiment, activated carbon from coal and coconut shell with varied comparison between KOH and raw materials and activation temperature was used to adsorp methane and hydrogen. Activated carbons used were locally made in Laboratory of Chemical Engineering Department, University of Indonesia. Adsorbent used are activated carbon from coal with KOH/raw material = 4/1 and activation temperature 900°C (BB, 4:1, 900), activated carbon from coconut shell with KOH/raw material = 4/1 and activation temperature 700°C (ATK, 4:1, 700), activated carbon from coconut shell with KOH/raw material = 3/1 and activation temperature 700°C (ATK, 3:1, 700), and activated carbon from coal with KOH/raw material = 3/1 and activation temperature 700°C (BB, 3:1, 700). Methane and hydrogen adsorption capacity of activated carbon measured at varied pressure with range 0 – 900 Psia and isothermal condition (25° C).*

*Obtained result from this experiment, methane adsorption capacity of activated carbon is higher than its hydrogen adsorption capacity. At pressure about 900 psia, activated carbon from coconut shell, with KOH/shell 4:1 and activation temperature 700° C (ATK, 4:1, 700) was having higher methane and hydrogen adsorption capacity than others, it can adsorp 2.8 mmol methane per gram activated carbon used and 0.6 mmol hydrogen per gram activated carbon.*

*Keywords : Adsorption, Activated Carbon, Coal, Coconut Shell, Hydrogen, Methane.*

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I    PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	7
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Sistematika Penulisan.....	8
<b>BAB II    TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
2.1 Adsorpsi .....	9
2.1.1 Definisi Adsorpsi .....	9
2.1.2 Jenis-Jenis Adsorpsi.....	10
2.1.3 Adsorpsi Isotermis .....	10
2.2 Karbon Aktif .....	13
2.2.1 Kegunaan Karbon Aktif.....	15
2.2.2 Pembuatan Karbon Aktif.....	16
2.2.3 Jenis-Jenis Karbon Aktif.....	20
2.2.4 Daya Serap dan Aplikasi Karbon Aktif .....	22
2.2.5 Adsorpsi Hidrogen dan Metana pada Karbon Aktif .....	24
2.3 Batubara .....	25
2.3.1 Definisi Batubara .....	25
2.3.2 Jenis-Jenis Batubara .....	25
2.3.3 Bahan Penyusun Batubara.....	26
2.4 Tempurung Kelapa.....	28
2.4.1 Kandungan Tempurung Kelapa .....	28
2.4.2 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa ...	29
2.5 Penyimpanan Gas dengan Adsorpsi.....	31

BAB III	METODE PENELITIAN.....	33
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2	Prosedur Penelitian.....	34
3.2.1	Persiapan Alat dan Bahan .....	34
3.2.1.1	<i>Alat</i> .....	34
3.2.1.2	<i>Bahan</i> .....	35
3.2.2	Persiapan Karbon Aktif.....	35
3.2.3	Pengujian Kapasitas Adsorpsi Metana (atau Hidrogen) .....	36
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Hasil Preparasi Adsorben.....	39
4.2	Hasil Uji Kebocoran.....	40
4.3	Hasil Pengukuran Volume Void .....	42
4.4	Hasil Uji Kapasitas Adsorpsi .....	44
4.4.1	Adsorpsi Metana .....	45
4.4.2	Adsorpsi Hidrogen .....	46
4.4.3	Hubungan antara Luas Permukaan dengan Kapasitas Adsorpsi .....	48
4.4.4	Representasi Data dengan Model Langmuir .....	51
BAB V	KESIMPULAN.....	57
	DAFTAR PUSTAKA .....	58
	LAMPIRAN.....	60

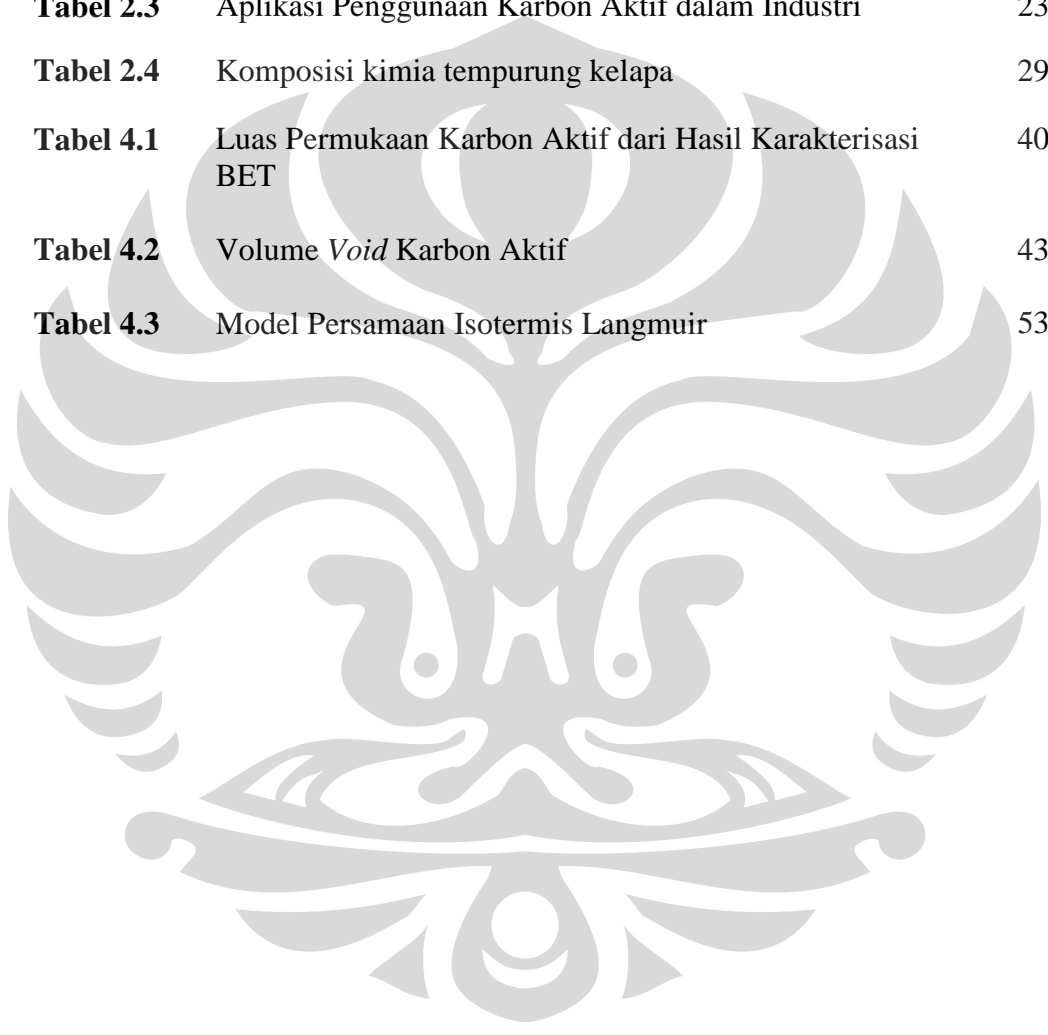


## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Pendekatan Adsorpsi Isotermis Langmuir	11
<b>Gambar 2.2</b>	Pendekatan Adsorpsi Isotermis BET	12
<b>Gambar 2.3</b>	Plot Isoterm Freundlich	13
<b>Gambar 2.4</b>	Pori-Pori di dalam Arang Aktif Polikristal	15
<b>Gambar 2.5</b>	Penyimpanan Gas secara Adsorpsi	31
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian	34
<b>Gambar 3.2</b>	Skema Alat untuk Analisis Daya Adsorpsi Karbon Aktif	36
<b>Gambar 4.1</b>	Karbon Aktif dari Batubara dan Tempurung Kelapa	40
<b>Gambar 4.2</b>	Kurva Uji Kebocoran pada Tampilan ADAMView	41
<b>Gambar 4.3</b>	Adsorpsi Metana pada Karbon Aktif yang Dibuat di DTK UI	45
<b>Gambar 4.4</b>	Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif yang Dibuat di DTK UI	47
<b>Gambar 4.5</b>	Ilustrasi Adsorpsi pada Permukaan Berpori Karbon Aktif	48
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Hubungan Antara Luas Permukaan dengan Kapasitas Adsorpsi Metana pada 600 psia	49
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik Hubungan Antara Luas Permukaan dengan Kapasitas Adsorpsi Metana pada 600 psia	49
<b>Gambar 4.8</b>	Ilustrasi Struktur Permukaan Karbon Aktif	51
<b>Gambar 4.9</b>	Model Langmuir Data Adsorpsi Metana pada Karbon Aktif	54
<b>Gambar 4.10</b>	Model Langmuir Data Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif	55

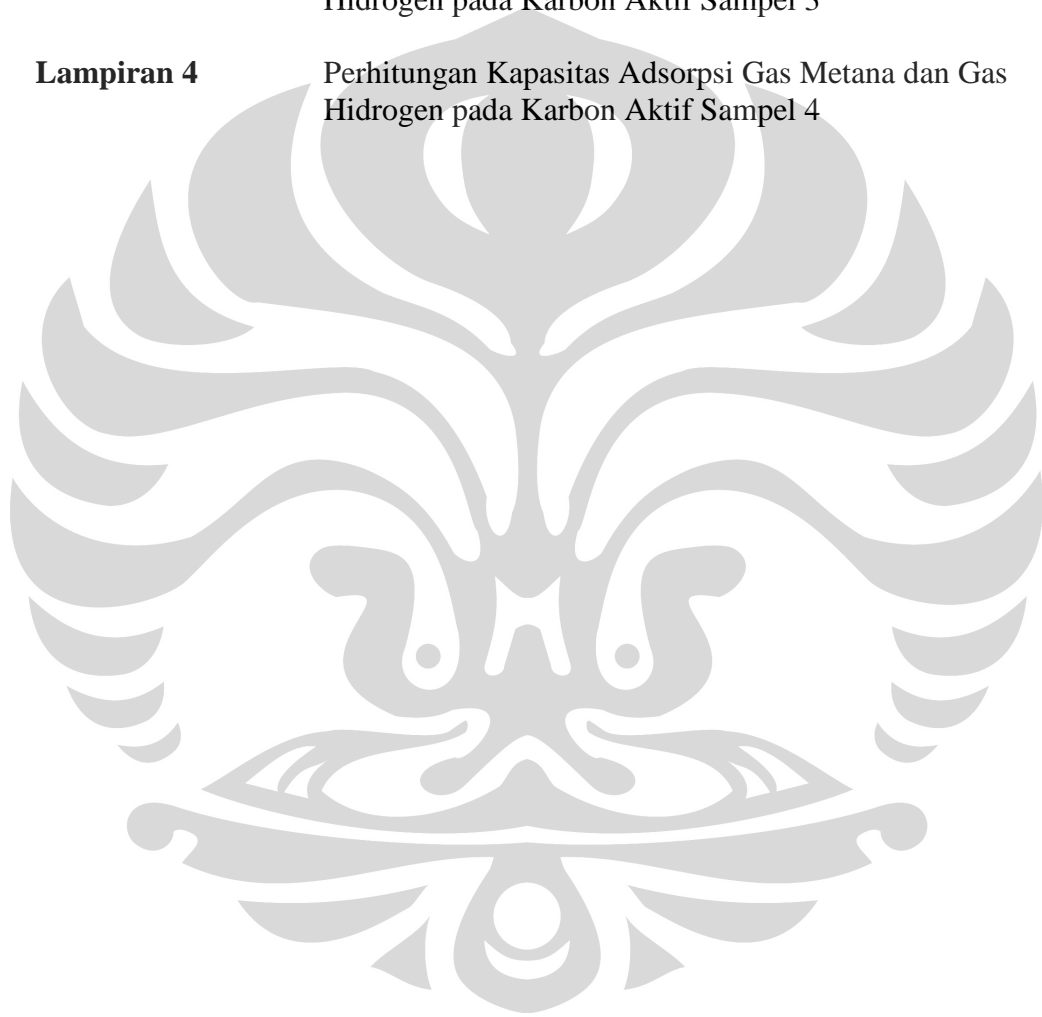
## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1</b> Literatur-Literatur tentang aktivasi karbon aktif	3
<b>Tabel 2.1</b> Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia	9
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi Karbon Aktif	20
<b>Tabel 2.3</b> Aplikasi Penggunaan Karbon Aktif dalam Industri	23
<b>Tabel 2.4</b> Komposisi kimia tempurung kelapa	29
<b>Tabel 4.1</b> Luas Permukaan Karbon Aktif dari Hasil Karakterisasi BET	40
<b>Tabel 4.2</b> Volume <i>Void</i> Karbon Aktif	43
<b>Tabel 4.3</b> Model Persamaan Isotermis Langmuir	53



**DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1** Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Gas Metana dan Gas Hidrogen pada Karbon Aktif Sampel 1
- Lampiran 2** Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Gas Metana dan Gas Hidrogen pada Karbon Aktif Sampel 2
- Lampiran 3** Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Gas Metana dan Gas Hidrogen pada Karbon Aktif Sampel 3
- Lampiran 4** Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Gas Metana dan Gas Hidrogen pada Karbon Aktif Sampel 4



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini kebutuhan bahan bakar sangat tinggi. Energi fosil masih merupakan sumber energi utama yang digunakan selama ini. Pada kenyataannya, kebutuhan energi yang terus menerus bertambah tidak sejalan dengan cadangan sumber energi fosil yang semakin menipis. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, ilmuwan berlomba-lomba menghasilkan sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu yang diharapkan dapat menjadi sumber energi masa depan adalah gas hidrogen dan metana.

Hidrogen dan metana merupakan gas yang mudah terbakar serta dianggap sebagai energi yang ramah lingkungan karena hasil pembakarannya yang relatif bersih dari sumber polutan. Namun demikian, pemakaian bahan bakar tersebut masih terkendala dalam penyimpanan serta distribusinya. Untuk menyimpan hidrogen atau metana dalam bentuk gas, diperlukan volume yang sangat besar untuk massa gas yang tidak banyak.

Teknologi penyimpanan gas hidrogen dan metana yang ada sekarang ini meliputi : (i) penyimpanan fisika melalui kompresi atau pencairan, (ii) penyimpanan kimiawi dalam karier hidrogen dan metana yang bersifat irreversibel, (iii) hidrida logam reversibel, dan (iv) adsorpsi gas pada padatan (Dillon, 2001). Bagaimanapun juga, tidak ada satupun dari metode-metode tersebut yang dapat memuaskan dari seluruh aspek: efisiensi, ukuran, berat, biaya dan persyaratan keselamatan untuk transportasi atau penggunaan.

Hal yang menjadi kendala dari metode penyimpanan fisika adalah diperlukannya tekanan yang tinggi dan/atau temperatur rendah (kriogenik), sehingga diperlukan juga biaya yang besar. Penyimpanan kimiawi biasanya memerlukan membutuhkan proses konversi yang membuat sistemnya lebih rumit. Penyimpanan dengan hidrida logam mempunyai kelebihan dari segi tekanannya yang rendah, tapi sistem penyimpanannya berat dan diperlukan tambahan proses pemanasan untuk melepaskan hidrogen.

Metode yang terakhir yaitu adsorpsi pada padatan berpori seperti karbon aktif, telah dipelajari sejak tahun 1960-an (Kidnay, 1967). Riset terkini telah memfokuskan pada pencarian adsorben ideal, yang dapat digunakan pada temperatur ruang dan memungkinkan penyimpanan gas dalam jumlah yang diinginkan. Hal ini telah membuat munculnya ketertarikan dalam penggunaan material karbon sebagai tempat penyimpanan hidrogen dan metana. Penyimpanan dalam material berbahan karbon ini mempunyai keunggulan karena densitas massanya yang rendah.

Pada penelitian ini diusulkan penggunaan karbon aktif yang mempunyai kemampuan adsorpsi tinggi untuk membuat *storage* untuk gas hidrogen dan metana. Karbon aktif adalah bahan yang mengandung karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dan memiliki struktur yang berpori serta mempunyai luas yang sangat besar (dapat mencapai lebih dari 1000 m<sup>2</sup>/g). Karbon aktif dapat diperoleh dengan proses aktivasi yang dibuat dari berbagai macam bahan organik yang kaya karbon seperti batubara, kayu, tempurung kelapa, kulit kacang dan sebagainya. Namun, luas permukaan karbon aktif yang ada sekarang belum cukup untuk digunakan sebagai *storage* yang efektif bagi metana dan hidrogen. Hal ini mungkin karena proses *treatment* yang kurang tepat pada proses pembuatannya.

Berbagai metode dapat dilakukan untuk meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif. Setiap metode tersebut akan menghasilkan luas permukaan karbon aktif yang berbeda. Tabel 1.1 menunjukkan beberapa literatur mengenai cara pembuatan karbon aktif dengan berbagai metode dan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode tersebut.

Tabel 1.1. Literatur-literatur tentang aktivasi karbon aktif

No	Nama Jurnal	Proses	Hasil
1	<i>Production of Activated Carbon from Palm-oil Shell by Pyrolysis and Steam Activation in A Fixed Bed Reactor</i>	Pirolisis bahan baku dengan laju alir udara 0.72 ml/min selama 30 menit dengan menggunakan steam dengan temperatur 750°C selama 3 jam	$P_{\text{bulk}} = 0.505 \text{ g/cm}^2$ $\text{surface area} = 669,75 \text{ m}^2/\text{g}$
2	<i>Producton and Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in A Pilot Reactor</i>	Pencampuran bahan baku dengan KOH (rasio berat alkali/char = 4/1) dialiri gas N <sub>2</sub> 4l/min dengan temperatur bervariasi dari 725 sampai 800 °C selama 1 jam	Volume mikropori = 0.678 cm <sup>3</sup> /g, $\text{surface area} = 1908 \text{ m}^2/\text{g}$
3	<i>Understanding Chemical Reaction between Carbon and NaOH and KOH</i>	Bahan baku dicampur dengan NaOH (NaOH/C = 3/1) dengan laju pemanasan 5 °C/min sampai 760 °C dengan dialiri N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> dan steam (laju steam 40, 100 dan 500 ml/min)	Hasil paling baik : dialiri N <sub>2</sub> 500 ml/min = 2193 m <sup>2</sup> /g. Hasil paling jelek: dialiri CO <sub>2</sub> = 36 m <sup>2</sup> /g
4	<i>Activated Carbon from Moringa husks and pods</i>	Dipanaskan dengan dialiri steam (2ml/min) dan besar laju pemanasan adalah 20 °C/min, temperatur bervariasi dari 500 °C sampai 800 °C selama 1 atau 2 jam.	$\text{surface area}$ untuk 800°C = 713 m <sup>2</sup> /g
No	Nama Jurnal	Proses	Hasil
5	<i>Activated Carbon from Bamboo – Technology Development towards Commercialization</i>	Dicampur asam fosfat (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ), zinc klorida (ZnCl <sub>2</sub> ), di <i>fluidized bed reactor</i> pada 900 - 1100 °C	$\text{surface area}$ rata-rata adalah = 1250 m <sup>2</sup> /g

		dengan adanya steam atau CO <sub>2</sub> .	
6	<i>Preparation and Examination of Activated Carbon from Date Pits Impregnated KOH</i>	Dengan mencampur 30 wt% KOH kemudian dipanaskan pada temperatur 600 °C selama 2 jam.	<i>surface area</i> adalah = 470 m <sup>2</sup> /g
7	<i>Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coal with CO<sub>2</sub> Activation. 1. Effects of Oxygen Content in Raw Coals</i>	Pirolisis dengan aliran CO <sub>2</sub> atau N <sub>2</sub> dipanaskan dengan laju pemanasan 30 °C/min dari temperatur ruang ke <i>maximum heat treatment temperatures</i> yaitu 800-950 °C kemudian dilakukan gasifikasi dengan aliran CO <sub>2</sub> pada temperatur <i>maximum heat treatment</i> .	Hasil yang terbaik adalah 658 m <sup>2</sup> /g
8	<i>High - Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coals with Potassium Hydroxide Activation</i>	Dilakukan karbonasi di <i>horizontal cylindrical furnace</i> (60-mm i.d.) dengan atmosfer N <sub>2</sub> (100ml/min) dan laju pemanasan (v) = 30 °C/min dari temperatur ruang sampai 500-1000 °C selama 0-3 jam.	KOH/coal = 4.25/1 dengan 800°C selama 1 jam mendapat <i>surface area</i> = 3000 m <sup>2</sup> /g
<b>No</b>	<b>Nama Jurnal</b>	<b>Proses</b>	<b>Hasil</b>
9	<i>Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husks by Phosporic</i>	<i>Precarbonized</i> karbon dengan dicampur 250 g yang mengandung 85% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> . Rasio H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> : coal = 4,2:1 pada 85 °C selama 4 jam. Lalu dikeringkan dengan kondisi vacuum pada 110 °C	<i>surface area</i> pada T= 900°C adalah 438,9 m <sup>2</sup> /g

	<i>Acid Activation</i>	selama 24 jam dan diaktivasi dengan atmosfer N <sub>2</sub> (v = 100ml/min) dan laju pemanasan = 5 °C/min. Temperatur yang digunakan adalah dari 700, 800, 900 °C selama 1 jam lalu didinginkan.	
--	------------------------	--	--

Sumber : Sri Mulyati, 2006

Dari Tabel 1.1 dapat diketahui bahwa proses pada jurnal *High-Porosity Carbons Prepared from Bituminous Coals with Potassium Hydroxide Activation* memberikan hasil (luas permukaan) yang besar dibandingkan dengan metode lainnya sehingga cukup menjanjikan untuk dicobakan dalam membuat karbon aktif dengan bahan batubara dan tempurung kelapa, sehingga karbon aktif yang digunakan dibuat dengan metode aktivasi kimiawi dengan penambahan KOH dalam atmosfer nitrogen. Pembuatan karbon aktif dari batubara dan tempurung kelapa dengan aktivasi kimiawi tersebut telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Pujiyanto, 2009-2010) di Laboratorium Departemen Teknik Kimia UI. Pada penelitian ini karbon aktif yang terbuat dari batubara dan tempurung kelapa diuji daya adsorpsinya terhadap gas hidrogen dan metana.

Di akhir penelitian ini, diharapkan dapat memberikan gambaran yang sesuai tentang karbon aktif, agar dapat diaplikasikan untuk penyimpanan gas hidrogen dan metana di Indonesia. Hal ini dilakukan dengan cara pengambilan data adsorpsi tekanan tinggi dan evaluasi model adsorpsi Langmuir yang sesuai untuk adsorpsi tekanan tinggi tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Sebelum penggunaan bahan bakar alternatif hidrogen dan metana dapat diaplikasikan secara luas, metode penyimpanan yang efektif untuk gas-gas tersebut juga harus dikembangkan. Penyimpanan dalam bentuk *compressed gas* dan gas cair kriogenik masih mengalami berbagai kendala baik dari segi ekonomis maupun segi teknis. Penggunaan karbon aktif untuk menyimpan hidrogen dan



metana teradsorpsi memungkinkan diperolehnya performa *storage* yang kompetitif dengan CNG pada tekanan rendah. Hal tersebut dapat mengurangi tekanan dan masalah dalam hal logistik.

Sebelumnya di Departemen Teknik Kimia FTUI telah dilakukan penelitian terhadap karbon aktif berbahan baku batubara sebagai adsorben untuk benzena dan toluene, serta dari tempurung kelapa sebagai adsorben gas CO<sub>2</sub> (Sri Mulyati, 2006). Akan tetapi, belum didapatkan luas permukaan karbon aktif dari batubara dan tempurung kelapa yang cukup besar untuk dijadikan *storage* gas hidrogen dan metana. Padahal jumlah batubara dan tempurung kelapa sangat melimpah. Oleh karena itu, pembuatan karbon aktif yang memiliki luas permukaan dan daya adsorpsi lebih tinggi terhadap hidrogen dan metana telah dilakukan (Pujiyanto, 2009-2010) dan penulis melakukan pengujian daya adsorpsi karbon dari tempurung kelapa dan batubara tersebut sebagai adsorben hidrogen dan metana.

Penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi bagi permasalahan energi yang ada di dunia dan dapat mendukung serta menunjang pengembangan teknologi sumber energi baru dan terbarukan bagi masa depan.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui kapasitas adsorpsi karbon aktif yang telah dibuat di Laboratorium DTK FTUI terhadap gas hidrogen dan metana dengan mendapatkan data kuantitas mol gas hidrogen dan metana yang teradsorpsi oleh karbon aktif dan membandingkan besarnya daya adsorpsi ketiga sampel karbon aktif yang diuji.
- Mengetahui pengaruh tekanan terhadap kemampuan karbon aktif terhadap daya adsorpsinya untuk gas hidrogen dan metana.
- Mendapatkan alternatif solusi bagi masalah penyimpanan dan distribusi bahan bakar gas, sehingga dapat mendukung serta menunjang pengembangan teknologi sumber energi baru dan terbarukan bagi masa depan.

#### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan yang berupa pembatasan peralatan, komponen, dan kondisi operasi sebagai berikut:

- Menggunakan karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa dan batubara lokal dengan aktivasi kimiawi yang dibuat di Laboratorium Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya adsorpsi karbon aktif yang dihasilkan.
- Variabel yang divariasikan adalah tekanan adsorpsi gas oleh karbon aktif.
- Adsorbat yang digunakan adalah gas hidrogen dan metana.
- Penelitian kapasitas adsorpsi hidrogen dengan menggunakan karbon aktif dilakukan pada kondisi isothermal yaitu 25°C (77 °F).
- Rentang variasi tekanan sistem yang digunakan adalah 0 - 900 Psia.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari lima bab yaitu:

##### BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah penelitian dan sistematika penulisan makalah.

##### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Meliputi teori-teori tentang adsorpsi, isoterm adsorpsi, karbon aktif, pembuatan karbon aktif, dan teori mengenai batubara.

##### BAB III METODE PENELITIAN

Meliputi skema penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, pengukuran volume *void* karbon aktif, uji daya adsorpsi karbon aktif, pengambilan dan pengolahan data.

##### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Meliputi data hasil penelitian, pengolahan data dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh.

#### BAB V KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan penelitian secara keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2. 1 Adsorpsi

##### 2.1.1 Definisi Adsorpsi

Adsorpsi atau penjerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penjerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terjerap, adsorbat) pada permukaannya. Berbeda dengan absorpsi yang merupakan penyerapan fluida oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan. Komponen yang terserap disebut **adsorbat** (*adsorbate*), sedangkan daerah tempat terjadinya penyerapan disebut **adsorben** (*adsorbent / substrate*). Berdasarkan sifatnya, adsorpsi dapat digolongkan menjadi adsorpsi fisik dan kimia. Perbedaan antara adsorpsi fisik dan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Perbedaan adsorpsi fisik dan kimia**

Adsorpsi Fisik	Adsorpsi Kimia
Molekul terikat pada adsorben oleh gaya van der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
Mempunyai entalpi reaksi – 4 sampai – 40 kJ/mol	Mempunyai entalpi reaksi –40 sampai –800 kJ/mol
Dapat membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu	Melibatkan energi aktivasi tertentu
Bersifat tidak spesifik	Bersifat sangat spesifik

##### 2.1.2 Jenis-Jenis Adsorpsi

### 2.1.2.1 Adsorpsi Fisik

Adsorpsi fisik adalah adsorpsi yang terjadi akibat gaya interaksi tarik-menarik antara molekul adsorben dengan molekul adsorbat. Adsorpsi ini melibatkan gaya-gaya Van der Waals (sebagai kondensasi uap). Jenis ini cocok untuk proses adsorpsi yang membutuhkan proses regenerasi karena zat yang teradsorpsi tidak larut dalam adsorben tapi hanya sampai permukaan saja.

### 2.1.2.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi akibat interaksi kimia antara molekul adsorben dengan molekul adsorbat. Proses ini pada umumnya menurunkan kapasitas dari adsorben karena gaya adhesinya yang kuat sehingga proses ini tidak reversibel.

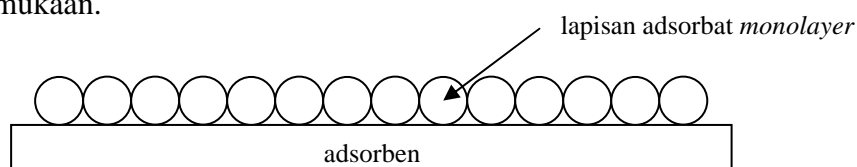
### 2.1.3 Adsorpsi Isotermis

Percobaan adsorpsi yang paling umum adalah menentukan hubungan jumlah gas teradsorpsi (pada adsorben) dan tekanan gas. Pengukuran ini dilakukan pada suhu tetap, dan hasil pengukuran digambarkan dalam grafik dan disebut model **adsorpsi isotermis**.

#### 2.1.3.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori adsorpsi isotermis dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu:

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap.
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*.
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama.
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat.
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan.



### Gambar 2.1. Pendekatan adsorpsi isoteremis Langmuir

Ilustrasi adsorpsi kesetimbangan Langmuir dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pada kesetimbangan, laju adsorpsi dan desorpsi gas adalah sama. Bila  $\theta$  menyatakan fraksi yang ditempati oleh adsorbat dan  $P$  menyatakan tekanan gas yang teradsorpsi, maka

$$k_1\theta = k_2P(1 - \theta) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan  $k_1$  dan  $k_2$  masing – masing merupakan tetapan laju adsorpsi dan desorpsi. Jika didefinisikan  $a = k_1 / k_2$ , maka

$$\theta = \frac{P}{(a + P)} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Pada adsorpsi *monolayer*, jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan  $P$  ( $y$ ) dan jumlah gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer* dihubungkan dengan  $\theta$  melalui persamaan

$$\theta = \frac{y}{y_m} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

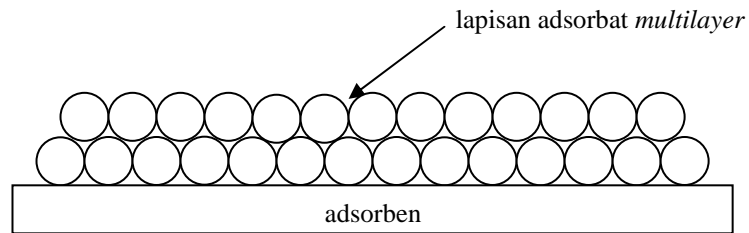
$$y = \frac{y_m P}{a + P} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Teori adsorpsi isoteremis Langmuir berlaku untuk adsorpsi kimia, dimana reaksi yang terjadi adalah spesifik dan umumnya membentuk lapisan *monolayer*.

#### 2.1.3.2 Adsorpsi Isoteremis BET

Teori adsorpsi isoteremis BET merupakan hasil kerja dari S. Brunauer, P.H. Emmet, dan E. Teller. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, adsorpsi isoteremis BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer*. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai:

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



**Gambar 2.2. Pendekatan adsorpsi isotermis BET**

Pendekatan adsorpsi isotermis BET dapat dilihat pada Gambar 2.2. Pada pendekatan ini, perbandingan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta  $c$ . Lapisan adsorbat akan terbentuk sampai tekanan uapnya mendekati tekanan uap dari gas yang teradsorpsi. Pada tahap ini, permukaan dapat dikatakan "basah (*wet*)". Bila  $V$  menyatakan volume gas teradsorpsi,  $V_m$  menyatakan volume gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer*, dan  $x$  adalah  $P/P^*$ , maka adsorpsi isotermis BET dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Kesetimbangan antara fasa gas dan senyawa yang teradsorpsi dapat dibandingkan dengan kesetimbangan antara fasa gas dan cairan dari suatu senyawa. Dengan menggunakan analogi persamaan Clausius – Clapeyron, maka

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = - \frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan  $\Delta H_{ads}$  adalah entalpi adsorpsi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan kesetimbangan dari gas teradsorpsi bergantung pada permukaan dan entalpi adsorpsi.

**2.1.3.3 Adsorpsi Isotermis Freundlich**

Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorben merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna

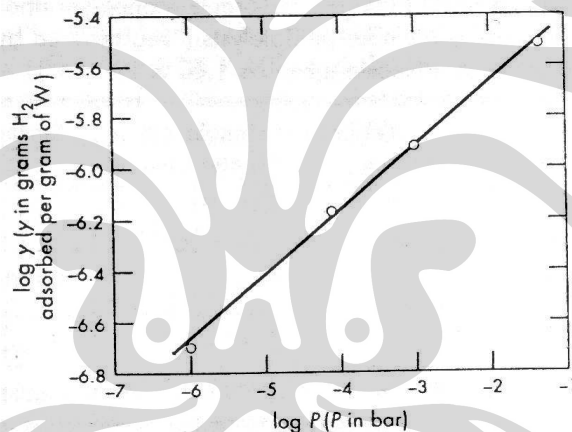
larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi.

Pendekatan adsorpsi isotermis yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika  $y$  adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan  $c$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka

$$y = k c^{1/n} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log c \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana  $k$  dan  $n$  adalah konstanta empiris. Jika persamaan (2.7) diaplikasikan untuk gas, maka  $y$  adalah jumlah gas yang teradsorpsi dan  $c$  digantikan dengan tekanan gas. Plot  $\log y$  terhadap  $\log c$  atau  $\log P$  menghasilkan kurva linier. Dengan menggunakan kurva tersebut (Gambar 2.3), maka nilai  $k$  dan  $n$  dapat ditentukan.



Gambar 2.3. Plot isoterm Freundlich untuk adsorpsi H<sub>2</sub> pada tungsten (suhu 400°C)

## 2.2 Karbon Aktif

Karbon atau arang aktif adalah material yang berbentuk butiran atau bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon misalnya batubara, kulit kelapa, dan sebagainya. Dengan pengolahan tertentu yaitu proses aktivasi seperti perlakuan dengan tekanan dan suhu tinggi, dapat diperoleh karbon aktif yang memiliki permukaan dalam yang luas.

Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan



pada suhu tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan agar tidak terjadi kebocoran udara didalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Selain digunakan sebagai bahan bakar, arang juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika dilakukan aktivasi terhadap arang tersebut dengan bahan-bahan kimia atau dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, arang akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Arang yang demikian disebut sebagai arang aktif.

Pada umumnya satu gram karbon aktif memiliki luas permukaan seluas 500-1500 m<sup>2</sup>, sehingga sangat efektif dalam menangkap partikel-partikel yang sangat halus berukuran 0.01-0.0000001 mm. Karbon aktif bersifat sangat aktif dan akan menyerap apa saja yang kontak dengan karbon tersebut. Dalam waktu 60 jam biasanya karbon aktif tersebut menjadi jenuh dan tidak aktif lagi. Oleh karena itu biasanya arang aktif di kemas dalam kemasan yang kedap udara. Beberapa jenis arang aktif dapat di reaktivasi kembali sampai tahap tertentu, meskipun demikian tidak jarang yang disarankan untuk sekali pakai. Reaktivasi karbon aktif sangat tergantung dari metode aktivasi sebelumnya. Oleh karena itu, perlu diperhatikan keterangan pada kemasan produk tersebut.



**Gambar 2.4. Pori-pori di dalam arang aktif polikristal**

Karbon aktif tersedia dalam berbagai bentuk misalnya bongkahan (*gravel*), pelet (0.8-5 mm) lembaran fiber, bubuk (PAC : *Powder Active Carbon*, 0.18 mm atau US mesh 80) dan butiran-butiran kecil (GAC : *Granular Active Carbon*, 0.2-5 mm) dan sebagainya. Serbuk karbon aktif PAC lebih mudah digunakan dalam pengolahan air dengan sistem pembubuhan yang sederhana. Ilustrasi pori-pori karbon aktif polikristal dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Bahan baku yang berasal dari hewan, tumbuh-tumbuhan, limbah ataupun mineral yang mengandung karbon dapat dibuat menjadi arang aktif, bahan tersebut antara lain: tulang, kayu lunak, sekam, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, ampas penggilingan tebu, ampas pembuatan kertas, serbuk gergaji, kayu keras dan batubara.

### 2.2.1 Kegunaan Karbon Aktif

Karbon aktif adalah sejenis *adsorbent* (penyerap) yang berwarna hitam, berbentuk granular, bulat, pellet ataupun bubuk. Jenis karbon ini jelas diminati, tidak dihindari. Karbon aktif dipakai dalam proses pemurnian udara, gas dan larutan atau cairan, dalam proses *recovery* suatu logam dari biji logamnya, dan juga dipakai sebagai *support* katalis. Karbon aktif dipakai juga dalam pemurnian gas dan udara, *safety mask* dan respirator, seragam militer, *adsorbent foams*, industri nuklir, *electroplating solutions*, deklorinasi, penyerap rasa dan bau dari air, aquarium, *cigarette filter*, dan juga penghilang senyawa-senyawa organik dalam air.

Sesuai dengan salah satu fungsi di atas, maka karbon aktif juga dipakai di Unit *CO<sub>2</sub> Removal* Pabrik Ammonia, dengan tujuan untuk menangkap senyawa organik atau anorganik yang dapat menaikkan *Foaming High* larutan Benfield sehingga menurunkan kinerja area *CO<sub>2</sub> Removal* yang akhirnya akan mempengaruhi kinerja pabrik Ammonia secara keseluruhan.

### 2.2.2 Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif biasanya dibuat dari *petroleum coke*, serbuk gergaji, lignite, batu bara, *peat*, kayu, tempurung kelapa, dan biji buah-buahan. Semuanya bahan tersebut sebagian dapat langsung diproses sebagai karbon aktif dan ada pula yang

melalui proses aktivasi. Karbon aktif yang berasal dari serbuk gergaji dan lignite mempunyai struktur yang rapuh dan berbentuk bubuk. Sedangkan karbon aktif yang berbentuk granular, keras, dan dipakai sebagai pengadsorb *vapor* biasanya berasal dari tempurung kelapa, biji buah-buahan, atau briket batubara. Sedangkan sifat fisik yang paling penting adalah luas permukaannya.

Secara umum proses pembuatan arang aktif dapat dibagi dua yaitu:

### **1. Proses Kimia.**

Bahan baku dicampur dengan bahan-bahan kimia tertentu, kemudian dibuat padat. Selanjutnya padatan tersebut dibentuk menjadi batangan dan dikeringkan serta dipotong-potong. Aktivasi dilakukan pada temperatur 100 °C. Arang aktif yang dihasilkan, dicuci dengan air selanjutnya dikeringkan pada temperatur 300 °C. Dengan proses kimia, bahan baku dapat dikarbonisasi terlebih dahulu, kemudian dicampur dengan bahan-bahan kimia.

### **2. Proses Fisika**

Bahan baku terlebih dahulu dibuat arang. Selanjutnya arang tersebut digiling, diayak untuk selanjutnya diaktivasi dengan cara pemanasan pada temperatur 1000 °C yang disertai pengaliran uap. Proses fisika banyak digunakan dalam aktivasi arang antara lain :

a. *Proses Briket*: bahan baku atau arang terlebih dahulu dibuat briket, dengan cara mencampurkan bahan baku atau arang halus dengan “ter”. Kemudian, briket yang dihasilkan dikeringkan pada 550 °C untuk selanjutnya diaktivasi dengan uap.

b. *Destilasi kering*: merupakan suatu proses penguraian suatu bahan akibat adanya pemanasan pada temperatur tinggi dalam keadaan sedikit maupun tanpa udara. Hasil yang diperoleh berupa residu yaitu arang dan destilat yang terdiri dari campuran metanol dan asam asetat. Residu yang dihasilkan bukan merupakan karbon murni, tetapi masih mengandung abu dan “ter”. Hasil yang diperoleh seperti metanol, asam asetat dan arang tergantung pada bahan baku yang digunakan dan metoda destilasi. Diharapkan daya serap arang aktif yang dihasilkan dapat menyerupai atau lebih baik dari pada daya serap arang aktif yang

diaktifkan dengan menyertakan bahan-bahan kimia. Dengan cara ini, pencemaran lingkungan sebagai akibat adanya penguraian senyawa-senyawa kimia dari bahan-bahan pada saat proses pengarangan dapat dihindari. Selain itu, dapat dihasilkan asap cair sebagai hasil pengembunan uap hasil penguraian senyawa-senyawa organik dari bahan baku.

Ada empat hal yang dapat dijadikan batasan dari penguraian komponen kayu yang terjadi karena pemanasan pada proses destilasi kering, yaitu:

1. Batasan A adalah suhu pemanasan sampai 200 °C. Air yang terkandung dalam bahan baku keluar menjadi uap, sehingga kayu menjadi kering, retak-retak dan bengkok. Kandungan karbon lebih kurang 60 %.
2. Batasan B adalah suhu pemanasan antara 200-280 °C. Kayu secara perlahan-lahan menjadi arang dan destilat mulai dihasilkan. Warna arang menjadi coklat gelap serta kandungan karbonnya lebih kurang 70%.
3. Batasan C adalah suhu pemanasan antara 280-500 °C. Pada suhu ini akan terjadi karbonisasi selulosa, penguraian lignin dan menghasilkan “ter”. Arang yang terbentuk berwarna hitam serta kandungan karbonnya meningkat menjadi 80%. Proses pengarangan secara praktis berhenti pada suhu 400 °C.
4. Batasan D adalah suhu pemanasan 500 °C, terjadi proses pemurnian arang, dimana pembentukan “ter” masih terus berlangsung. Kadar karbon akan meningkat mencapai 90%. Pemanasan diatas 700 °C, hanya menghasilkan gas hidrogen.

Namun secara umum dan sederhana proses pembuatan arang aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. *Dehidrasi* : proses penghilangan air dimana bahan baku dipanaskan sampai temperatur 170 °C.
2. *Karbonisasi* : pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon. Suhu diatas 170°C akan menghasilkan CO, CO<sub>2</sub> dan asam asetat. Pada suhu 275°C,

dekomposisi menghasilkan “ter”, metanol dan hasil samping lainnya. Pembentukan karbon terjadi pada temperatur 400 – 600 °C

3. *Aktifasi* : dekomposisi tar dan perluasan pori-pori. Aktivasi dapat dilakukan dengan uap atau CO<sub>2</sub> sebagai aktifator.

Proses aktifasi merupakan hal yang penting diperhatikan disamping bahan baku yang digunakan. Yang dimaksud dengan aktifasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Metoda aktifasi yang umum digunakan dalam pembuatan arang aktif adalah:

### **1. Aktifasi Kimia.**

Aktifasi ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia. Aktifator yang digunakan adalah bahan-bahan kimia seperti: hidroksida logam alkali garam-garam karbonat, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah dan khususnya ZnCl<sub>2</sub>, asam-asam anorganik seperti H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

### **2. Aktifasi Fisika.**

Aktifasi ini merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO<sub>2</sub>. Umumnya arang dipanaskan di dalam tanur pada temperatur 800-900°C. Oksidasi dengan udara pada temperatur rendah merupakan reaksi eksoterm sehingga sulit untuk mengontrolnya. Sedangkan pemanasan dengan uap atau CO<sub>2</sub> pada temperatur tinggi merupakan reaksi endoterm, sehingga lebih mudah dikontrol dan paling umum digunakan.

Beberapa bahan baku lebih mudah untuk diaktifasi jika diklorinasi terlebih dahulu. Selanjutnya dikarbonisasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang terklorinasi dan akhirnya diaktifasi dengan uap. Juga memungkinkan untuk memperlakukan arang kayu dengan uap belerang pada temperatur 500°C dan kemudian desulfurisasi dengan H<sub>2</sub> untuk mendapatkan arang dengan aktifitas

tinggi. Dalam beberapa bahan barang yang diaktifasi dengan percampuran bahan kimia, diberikan aktifasi kedua dengan uap untuk memberikan sifat fisika tertentu.

Dengan bertambah lamanya destilasi serta bertambah tingginya temperatur destilasi, mengakibatkan jumlah arang yang dihasilkan semakin kecil, sedangkan destilasi dan daya serap makin besar. Meskipun dengan semakin bertambahnya temperatur destilasi, daya serap arang aktif semakin baik, masih diperlukan pembatasan temperatur yaitu tidak melebihi 1000 °C, karena banyak terbentuk abu sehingga menutupi pori-pori yang berfungsi untuk mengadsorpsi. Sebagai akibatnya daya serap arang aktif akan menurun. Selanjutnya campuran arang dan aktifator dipanaskan pada temperatur dan waktu tertentu. Hasil yang diperoleh, diuji daya serapnya terhadap larutan Iodium.

Menurut SII No.0258 -79, arang aktif yang baik mempunyai persyaratan seperti yang tercantum pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Spesifikasi karbon aktif.**

Jenis	Persyaratan
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C.	Maksimum 15%
Air	Maksimum 10%
Abu	Maksimum 2,5%
Bagian yang tidak diperarang	Tidak nyata
Daya serap terhadap larutan I	Minimum 20%

Banyak cara untuk mengaktifasi karbon. Cara yang paling umum adalah dengan memakai gas pengoksidasi seperti udara, *steam*, atau karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan karbonasi bahan baku dengan memakai *chemical agent* seperti Seng Klorida atau *Phosphoric Acid*. Setelah karbon aktif terpakai dan telah jenuh (dengan *vapor* atau warna), maka zat-zat penyebab jenuh tersebut dapat *disteaming*, dikondensasi, *direcovery* (bila diperlukan), dan dihilangkan (bila tidak diinginkan), sehingga karbon aktif siap digunakan kembali. Perlakuan ini disebut regenerasi.

### 2.2.3 Jenis-Jenis Karbon Aktif

Karbon aktif terbagi atas 2 tipe yaitu arang aktif sebagai pemucat dan arang aktif sebagai penyerap uap.

➤ Arang aktif sebagai pemucat.

Biasanya berbentuk serbuk yang sangat halus dengan diameter pori mencapai  $1000 \text{ \AA}$  yang digunakan dalam fase cair. Umumnya berfungsi untuk memindahkan zat-zat pengganggu yang menyebabkan warna dan bau yang tidak diharapkan dan membebaskan pelarut dari zat-zat pengganggu dan kegunaan yang lainnya pada industri kimia dan industri baru. Arang aktif ini diperoleh dari serbuk-serbuk gergaji, ampas pembuatan kertas atau dari bahan baku yang mempunyai densitas kecil dan mempunyai struktur yang lemah.

➤ Arang aktif sebagai penyerap uap.

Biasanya berbentuk granular atau pellet yang sangat keras dengan diameter pori berkisar antara  $10\text{-}200 \text{ \AA}$ . Tipe porinya lebih halus dan digunakan dalam fase gas yang berfungsi untuk memperoleh kembali pelarut atau katalis pada pemisahan dan pemurnian gas. Umumnya arang ini dapat diperoleh dari tempurung kelapa, tulang, batu bata atau bahan baku yang mempunyai struktur keras.

Sehubungan dengan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan arang aktif untuk masing-masing tipe, pernyataan diatas bukan merupakan suatu keharusan.

Dengan proses oksidasi, karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu :

- L-karbon (L-AC)

Karbon aktif yang dibuat dengan oksidasi pada suhu  $300^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$  ( $570\text{o-}750\text{oF}$ ) dengan menggunakan udara atau oksidasi kimia. L-AC sangat cocok dalam mengadsorbsi ion terlarut dari logam berat basa seperti  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ . Karakter permukaannya yang bersifat asam akan berinteraksi dengan

logam basa. Regenerasi dari L-AC dapat dilakukan menggunakan asam atau garam seperti NaCl yang hampir sama perlakuannya pada pertukaran ion.

- H-karbon (H-AC)

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses pemasakan pada suhu 800o-1000°C (1470°-1830°F) kemudian didinginkan pada atmosfer inersial. H-AC memiliki permukaan yang bersifat basa sehingga tidak efektif dalam mengadsorpsi logam berat alkali pada suatu larutan air tetapi sangat lebih efisien dalam mengadsorpsi kimia organik, partikulat hidrofobik, dan senyawa kimia yang mempunyai kelarutan yang rendah dalam air. Akan tetapi H-AC dapat dimodifikasi dengan menaikkan angka asiditas. Permukaan yang netral akan mengakibatkan tidak efektifnya dalam mereduksi dan mengadsorpsi kimia organik sehingga efektif mengadsorpsi ion logam berat dengan kompleks khelat zat organik alami maupun sintetik dengan menetralkannya.

#### **2.2.4 Daya Serap dan Aplikasi Karbon Aktif**

Arang aktif yang merupakan adsorben adalah suatu padatan berpori, yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas dan masing-masing berikatan secara kovalen. Dengan demikian, permukaan arang aktif bersifat nonpolar. Selain komposisi dan polaritas, struktur pori juga merupakan faktor yang penting diperhatikan. Struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah.

Untuk meningkatkan kecepatan adsorpsi, dianjurkan agar menggunakan arang aktif yang telah dihaluskan. Sifat arang aktif yang paling penting adalah daya serap. Dalam hal ini, ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya serap adsorpsi, yaitu :

##### **1. Sifat Serapan**

Banyak senyawa yang dapat diadsorpsi oleh arang aktif, tetapi kemampuannya untuk mengadsorpsi berbeda untuk masing-masing senyawa. Adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul



serapan dari struktur yang sama, seperti dalam deret homolog. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, struktur rantai dari senyawa serapan.

## **2. Temperatur**

Dalam pemakaian arang aktif dianjurkan untuk mengamati temperatur pada saat berlangsungnya proses. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas termal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya. Untuk senyawa volatil, adsorpsi dilakukan pada temperatur kamar atau bila memungkinkan pada temperatur yang lebih rendah.

## **3. pH (Derajat Keasaman).**

Untuk asam-asam organik, adsorpsi akan meningkat bila pH diturunkan, yaitu dengan penambahan asam-asam mineral. Ini disebabkan karena kemampuan asam mineral untuk mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya bila pH asam organik dinaikkan yaitu dengan menambahkan alkali, adsorpsi akan berkurang sebagai akibat terbentuknya garam.

## **4. Waktu Singgung**

Bila arang aktif ditambahkan dalam suatu cairan, dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan jumlah arang yang digunakan. Selisih ditentukan oleh dosis arang aktif, pengadukan juga mempengaruhi waktu singgung. Pengadukan dimaksudkan untuk memberi kesempatan pada partikel arang aktif untuk bersinggungan dengan senyawa serapan. Untuk larutan yang mempunyai viskositas tinggi, dibutuhkan waktu singgung yang lebih lama.

Karbon aktif merupakan bahan yang multifungsi dimana hampir sebagian besar telah dipakai penggunaannya oleh berbagai macam jenis industri. Aplikasi terhadap penggunaan karbon aktif dapat dilihat dari Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Aplikasi penggunaan karbon aktif dalam industri.

No.	Pemakai	Kegunaan	Jenis/ Mesh
1.	Industri obat dan makanan	Menyaring, penghilangan bau dan rasa	8×30, 325
2.	Minuman keras dan ringan	Penghilangan warna, bau pada minuman	4×8, 4×12
3.	Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah	4×8, 4×12, 8×30
4.	Pembersih air	Penghilangan warna, bau penghilangan resin	
No.	Pemakai	Kegunaan	Jenis/ Mesh
5.	Budi daya udang	Pemurnian, penghilangan ammonia, nitrit, penol, dan logam berat	4×8, 4×12
6.	Industri gula	Penghilangan zat-zat warna, menyerap proses penyaringan menjadi lebih sempurna	4×8, 4×12
7.	Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut	4×8, 4×12, 8×30
8.	Pemurnian gas	Menghilangkan sulfur, gas beracun, bau busuk asap.	4×8, 4×12
9.	Katalisator	Reaksi katalisator pengangkut vinil khlorida, vinil asetat	4×8, 4×30
10.	Pengolahan pupuk	Pemurnian, penghilangan bau	8×30

### 2.2.5 Adsorpsi Hidrogen dan Metana pada Karbon Aktif

Adsorpsi fisika gas, khususnya adsorpsi  $N_2$  pada 77 K adalah teknik yang paling banyak digunakan untuk karakterisasi padatan berpori. Adsorpsi  $CO_2$  juga digunakan untuk karakterisasi karena  $CO_2$  dapat berdifusi dalam mikropori paling sempit (lebih kecil dari 0.7 mm) yang tidak dapat dimasuki  $N_2$ .

Kapasitas penyimpanan hidrogen bergantung pada karakteristik pori material karbon. Adanya mikro-mesoporositas merupakan salah satu yang terpenting. Kapasitas adsorpsi hidrogen dan metana meningkat seiring dengan luas permukaan total dan volume mikropori material adsorben. Berdasarkan penelitian (Texier-Mandoki et al, 2005), korelasi paling baik diperoleh dari hubungan antara kapasitas adsorpsi  $H_2$  dan  $CH_4$  dengan volume mikropori  $CO_2$

(diameter < 0.7 mm). Pengamatan ini menunjukkan pentingnya mikroporositas, terutama mikropori sempit (diameter < 0.7 mm) untuk penyimpanan hidrogen dan metana.

## **2.3 Batubara**

### **2.3.1 Definisi Batubara**

Batu bara atau batubara adalah salah satu bahan bakar fosil. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatu baraan. Unsur-unsur utamanya terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batu bara juga adalah batuan organik yang memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang kompleks yang dapat ditemui dalam berbagai bentuk. Analisa unsur memberikan rumus formula empiris seperti  $C_{137}H_{97}O_9NS$  untuk bituminus dan  $C_{240}H_{90}O_4NS$  untuk antrasit.

Pada awalnya, batu bara merupakan tumbuh-tumbuhan pada zaman prasejarah, yang berakumulasi di rawa dan lahan gambut. Kemudian, karena adanya pergeseran pada kerak bumi (tektonik), rawa dan lahan gambut tersebut lalu terkubur hingga mencapai kedalaman ratusan meter. Selanjutnya, material tumbuh-tumbuhan yang terkubur tersebut mengalami proses fisika dan kimiawi, sebagai akibat adanya tekanan dan suhu yang tinggi. Proses perubahan tersebut, kemudian menghasilkan batu bara yang kita kenal sekarang ini.

Setiap batu bara yang dihasilkan, memiliki mutu (dilihat dari tingkat kelembaban, kandungan karbon, dan energi yang dihasilkan) yang berbeda-beda. Pengaruh suhu, tekanan, dan lama waktu pembentukan (disebut maturitas organik), menjadi faktor penting bagi mutu batu bara yang dihasilkan.

### **2.3.2 Jenis-Jenis Batu Bara**

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya, mutu setiap batu bara akan ditentukan oleh faktor suhu, tekanan, serta lama waktu pembentukan.

Kesemua faktor tersebut, kemudian dikenal dengan istilah maturitas organik. Semakin tinggi maturitas organiknya, maka semakin bagus mutu batu bara yang dihasilkan, begitu juga sebaliknya. Berdasarkan hal tersebut, maka kita dapat mengidentifikasi batu bara menjadi 2 golongan, yaitu :

1. *Batu bara dengan mutu rendah.*

Batu bara pada golongan ini memiliki tingkat kelembaban yang tinggi, serta kandungan karbon dan energi yang rendah. Biasanya batu bara pada golongan ini memiliki tekstur yang lembut, mudah rapuh, serta berwarna suram seperti tanah. Jenis batu bara pada golongan ini diantaranya lignite (batu bara muda) dan sub-bitumen

2. *Batu bara dengan mutu tinggi.*

Batu bara pada golongan ini memiliki tingkat kelembaban yang rendah, serta kandungan karbon dan energi yang tinggi. Biasanya batu bara pada golongan ini memiliki tekstur yang keras, materi kuat, serta berwarna hitam cemerlang. Jenis batu bara pada golongan ini diantaranya bitumen dan antrasit.

### **2.3.3 Bahan Penyusun Batubara**

Konsep bahwa batubara berasal dari sisa tumbuhan diperkuat dengan ditemukannya cetakan tumbuhan di dalam lapisan batubara. Dalam penyusunannya batubara diperkaya dengan berbagai macam polimer organik yang berasal dari antara lain karbohidrat, lignin, dan lain-lain. Namun komposisi dari polimer-polimer ini bervariasi tergantung pada spesies dari tumbuhan penyusunnya.

- *Lignin*

Lignin merupakan suatu unsur yang memegang peranan penting dalam merubah susunan sisa tumbuhan menjadi batubara. Sementara ini susunan molekul umum dari lignin belum diketahui dengan pasti, namun susunannya dapat diketahui dari lignin yang terdapat pada berbagai macam jenis tanaman. Sebagai contoh lignin yang terdapat pada rumput mempunyai susunan p-koumaril alkohol

yang kompleks. Pada umumnya lignin merupakan polimer dari satu atau beberapa jenis alkohol.

Hingga saat ini, sangat sedikit bukti kuat yang mendukung teori bahwa lignin merupakan unsur organik utama yang menyusun batubara.

- *Karbohidrat*

Gula atau monosakarida merupakan alkohol polihiruk yang mengandung antara lima sampai delapan atom karbon. Pada umumnya gula muncul sebagai kombinasi antara gugus karbonil dengan hidroksil yang membentuk siklus hemiketal. Bentuk lainnya muncul sebagai disakarida, trisakarida, ataupun polisakarida. Jenis polisakarida inilah yang umumnya menyusun batubara, karena dalam tumbuhan jenis inilah yang paling banyak mengandung polisakarida (khususnya selulosa) yang kemudian terurai dan membentuk batubara.

- *Protein*

Protein merupakan bahan organik yang mengandung nitrogen yang selalu hadir sebagai protoplasma dalam sel makhluk hidup. Struktur dari protein pada umumnya adalah rantai asam amino yang dihubungkan oleh rantai amida. Protein pada tumbuhan umumnya muncul sebagai steroid, lilin.

- *Material Organik Lain*

1. *Resin*. Resin merupakan material yang muncul apabila tumbuhan mengalami luka pada batangnya.
2. *Tanin*. Tanin umumnya banyak ditemukan pada tumbuhan, khususnya pada bagian batangnya.
3. *Alkaloida*. Alkaloida merupakan komponen organik penting terakhir yang menyusun batubara. Alkaloida sendiri terdiri dari molekul nitrogen dasar yang muncul dalam bentuk rantai.
4. *Porphirin*. Porphirin merupakan komponen nitrogen yang berdasar atas sistem pyrrole. Porphirin biasanya terdiri atas suatu struktur siklik yang terdiri atas empat cincin pyrrole yang tergabung dengan jembatan methin. Kandungan unsur porphirin dalam batubara ini telah diajukan sebagai marker yang sangat penting untuk mendeterminasi perkembangan dari proses coalifikasi.

5. *Hidrokarbon*. Unsur ini terdiri atas bisiklik alkali, hidrokarbon terpenin, dan pigmen kartenoid. Sebagai tambahan, munculnya turunan picene yang mirip dengan sistem aromatik polinuklir dalam ekstrak batubara dijadikan tanda inklusi material sterane-type dalam pembentukan batubara. Ini menandakan bahwa struktur rangka tetap utuh selama proses pematangan, dan tidak adanya perubahan serta penambahan struktur rangka yang baru.

- *Konstituen Tumbuhan yang Inorganik (Mineral)*

Selain material organik yang telah dibahas diatas, juga ditemukan adanya material inorganik yang menyusun batubara. Secara umum mineral ini dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu unsur mineral inheren dan unsur mineral eksternal. Unsur mineral inheren adalah material inorganik yang berasal dari tumbuhan yang menyusun bahan organik yang terdapat dalam lapisan batubara. Sedangkan unsur mineral eksternal merupakan unsur yang dibawa dari luar kedalam lapisan batubara, pada umumnya jenis inilah yang menyusun bagian inorganik dalam sebuah lapisan batubara.

## **2.4 Tempurung Kelapa**

### **2.4.1 Kandungan Tempurung Kelapa**

Tempurung merupakan lapisan keras yang terdiri dari lignin, selulosa, hemiselulosa, metoksil dan berbagai mineral. Kandungan bahan-bahan tersebut beragam sesuai dengan jenis kelapanya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung. Berat tempurung sekitar 15~19 % dari berat keseluruhan buah kelapa. Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar enam sampai sembilan persen (dihitung berdasar berat kering). Data komposisi kimia tempurung kelapa disajikan pada Tabel 2.4.

Tempurung kelapa dapat dibakar langsung sebagai kayu bakar, atau diolah menjadi arang. Arang batok kelapa dapat digunakan sebagai kayu bakar biasa atau diolah menjadi arang aktif yang diperlukan oleh berbagai industri pengolahan.

**Tabel 2.4. Komposisi kimia tempurung kelapa**

<b>Komponen</b>	<b>Persentase</b>
Lignin	36,51 %
Selulosa	33,61 %
Hemiselulosa	19,27 %

#### **2.4.2 Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa**

Arang tempurung kelapa selama ini lebih sering kita kenal sebagai bahan bakar untuk pemanggangan ikan atau makanan lain. Di balik kehitaman arang, tempurung kelapa ternyata menyimpan nilai ekonomis yang lebih tinggi lagi. Tempurung kelapa yang dijadikan arang dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan menjadikannya karbon aktif. Cara membuat karbon aktif dari tempurung kelapa juga relatif lebih mudah. Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air, pemurnian gas, industri minuman, farmasi, katalisator, dan berbagai macam penggunaan lain. Tempurung kelapa adalah salah satu bahan karbon aktif yang kualitasnya cukup baik dijadikan karbon aktif.

Bentuk dan ukuran, dan kualitas tempurung kelapa harus diperhatikan ketika membuat karbon aktif. Tempurung kelapa yang akan dijadikan bahan pembuat karbon aktif, sebaiknya berbentuk setengah atau seperempat ukuran tempurung. Jika ukurannya terlalu hancur, maka tempurung itu kurang baik dijadikan bahan pembuat karbon aktif. Dari segi kualitas, tempurung kelapa yang memenuhi syarat dijadikan bahan karbon aktif adalah kelapa yang benar-benar tua hingga warnanya hitam mengkilap dan keras.

Tempurung yang dijadikan bahan pembuat karbon aktif umumnya dari kelapa yang dijadikan kopra. Batok kelapa yang dihasilkan merupakan belahan dua dari satu buah kelapa utuh. Untuk membuat karbon aktif yang benar-benar berkualitas, tempurung harus bersih dan terpisah dari sabutnya.

Ada dua tahapan membuat karbon aktif yang berkualitas dari tempurung kelapa. Tahap pertama yang harus dilakukan adalah tempurung dibuat arang dengan peralatan drum berpenutup. Tahap kedua, melalui proses penggilingan arang tempurung hingga menghasilkan karbon aktif dan serbuk arang. Serbuk

arang ini masih bisa diproses menjadi briket arang tempurung. Penggilingan itu dilakukan dengan mesin sederhana berpengerak listrik, diesel, atau bensin.

Kualitas tempurung dan proses pembakaran akan sangat menentukan rendemen karbon aktif yang dihasilkan. Kualitas tempurung kelapa biasa lebih baik dibanding kelapa hibrida. Agar dapat memperoleh rendemen karbon aktif yang lebih baik, langkah-langkah proses pembakaran dengan cara drum diberi empat lubang di bagian bawah. Agar selama pembakaran udara bisa masuk, drum harus diganjil tiga potongan batu bata.

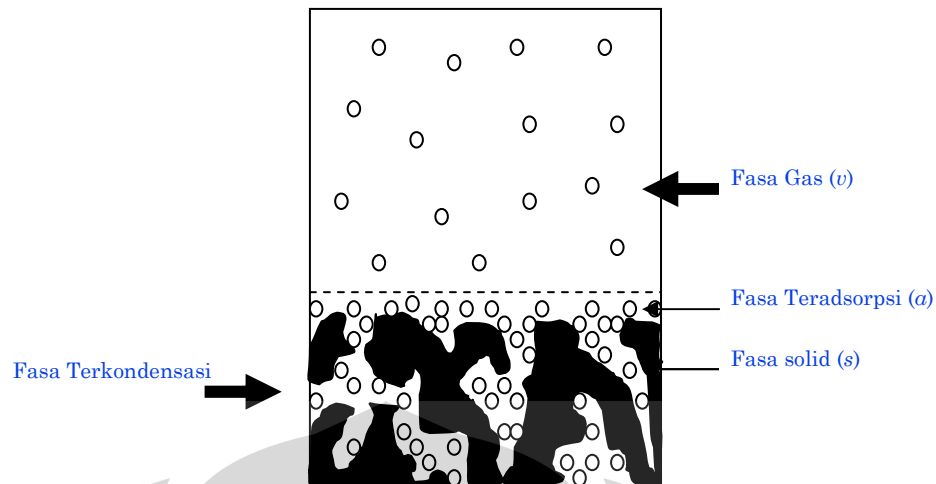
Pembakaran arang dilakukan lapis demi lapis tempurung. Memulai pembakaran bisa dengan menggunakan kertas atau daun kelapa kering yang ditaruh di atas satu lapis tempurung di dasar drum. Setelah tempurung lapisan pertama terbakar, sedikit demi sedikit satu lapisan ditaruh di atasnya. Langkah ini terus dilakukan sampai drum penuh. Ketika tempurung lapisan atas mulai terbakar, batu bata yang menjadi ganjalan drum perlahan-lahan diambil, sehingga dasar drum langsung menyentuh tanah dan menutup lubang. Kemudian drum ditutup rapat-rapat dan jangan sampai ada udara yang masuk. Jika ada udara yang masuk, maka arang yang ada dalam drum akan menjadi abu. Tetapi kalau drum ditutup rapat sebelum seluruh tempurung terbakar, tempurung tidak akan menjadi arang. Keesokan harinya, setelah drum dingin, tutupnya dibuka, kemudian drum dibaringkan. Arang tempurung kemudian dibongkar secara perlahan-lahan. Arang tempurung yang tampak hitam, mengkilap, utuh, keras, dan mudah dipatahkan menunjukkan kualitasnya baik. kadar air dalam arang tempurung kelapa antara 50-70 persen (Arya Fatta, 2008).

Satu ton *char* akan menghasilkan sekitar 0,3 ton karbon aktif. 1 m<sup>3</sup> karbon aktif dengan 0,3 m<sup>3</sup> pori - pori, dapat mengadsorb lebih dari 30 m<sup>3</sup> gas, dengan konsentrasi *carrier* yang rendah. Kebutuhan karbon aktif dunia per tahun 1996 sekitar 300.000 ton, dan ±10 % nya dipenuhi dari bahan baku tempurung kelapa.

## **2.5 Penyimpanan Gas dengan Adsorpsi**

Penggunaan adsorben sebagai media penyimpanan gas dapat diilustrasikan sebagaimana Gambar 2.5.





**Gambar 2.5.** Penyimpanan Gas secara Adsorpsi

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

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

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

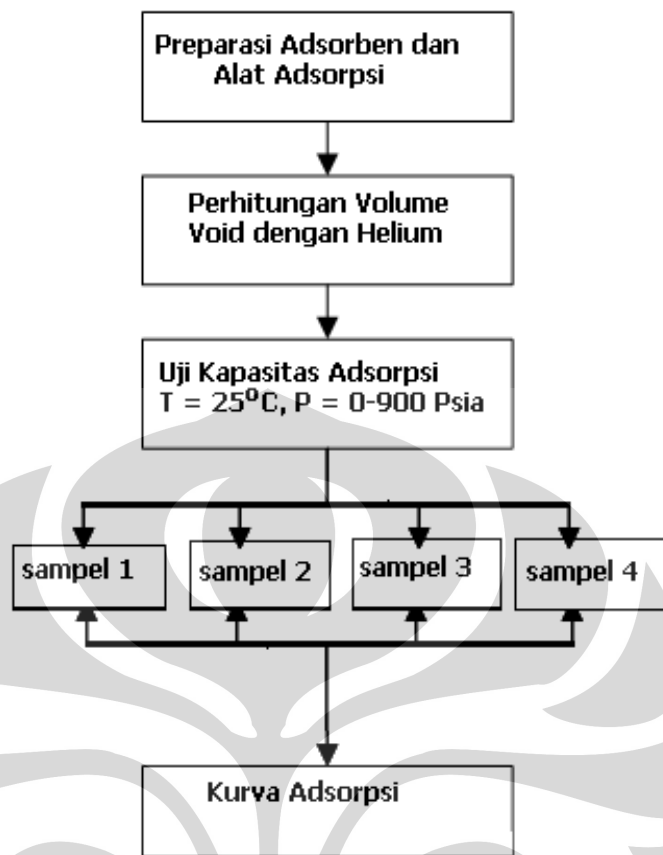
Dalam bab ini akan dibahas model penelitian, rancangan diagram alir penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, variabel dalam penelitian, teknik pengumpulan data dan analisis data, cara penafsiran dan penyimpulan hasil penelitian. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimental. Analisis data daya adsorpsi dilakukan berdasarkan prinsip isoterm adsorpsi Langmuir. Pada penelitian ini variabel yang akan divariasikan (variabel bebas) adalah tekanan adsorpsi gas oleh karbon aktif, dan yang menjadi variabel terikat adalah jumlah mol gas hidrogen dan metana yang teradsorpsi oleh karbon aktif.

Prosedur penelitian secara keseluruhan terbagi menjadi dan bagian besar yaitu proses pembuatan karbon aktif dan pengujian karbon aktif. Yang akan dibahas oleh penulis adalah tahap pengujian karbon aktif. Adapun pembuatan karbon aktif telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Pujiyanto, 2009-2010).

Penelitian ini dilakukan seperti diagram alir proses yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. 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 pengukuran Helium void volum, uji adsorpsi metana, dan uji adsorpsi hidrogen.

#### 3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

##### 3.2.1.1 Alat

1. *Dozing cylinder.*
2. *Sampling Cylinder*
3. *Pressure transducer.*
4. Oven.
5. Inkubator
6. Kompresor vakum.
7. Termometer.
8. Timbangan.

9. Spatula.

### **3.2.1.2 Bahan**

1. Karbon aktif dari batubara dengan aktivasi kimiawi KOH (4:1) pada temperatur 900° C (sampel 1).
2. Karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivasi kimiawi KOH (4:1) pada temperatur 700° C (sampel 2).
3. Karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivasi kimiawi KOH (3:1) pada temperatur 700° C (sampel 3).
4. Karbon aktif dari batubara dengan aktivasi kimiawi KOH (3:1) pada temperatur 700° C (sampel 4).
5. Glass Woll
6. Gas Helium
7. Gas Hidrogen
8. Gas Metana

### **3.2.2 Persiapan Karbon Aktif**

Bahan karbon aktif yang digunakan adalah produk dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di Departemen Teknik Kimia. Dengan kondisi bahan yang berbeda ini, masing-masing akan dimasukkan ke storage pengujian untuk kemudian diuji kemampuan adsorpsi gas hidrogen dan metana. Sebelum dimasukkan ke storage, bahan-bahan tersebut dikeringkan didalam oven pada temperatur 105°C selama 24 jam untuk menghilangkan uap air kesetimbangan yang mungkin terperangkap dalam bahan.

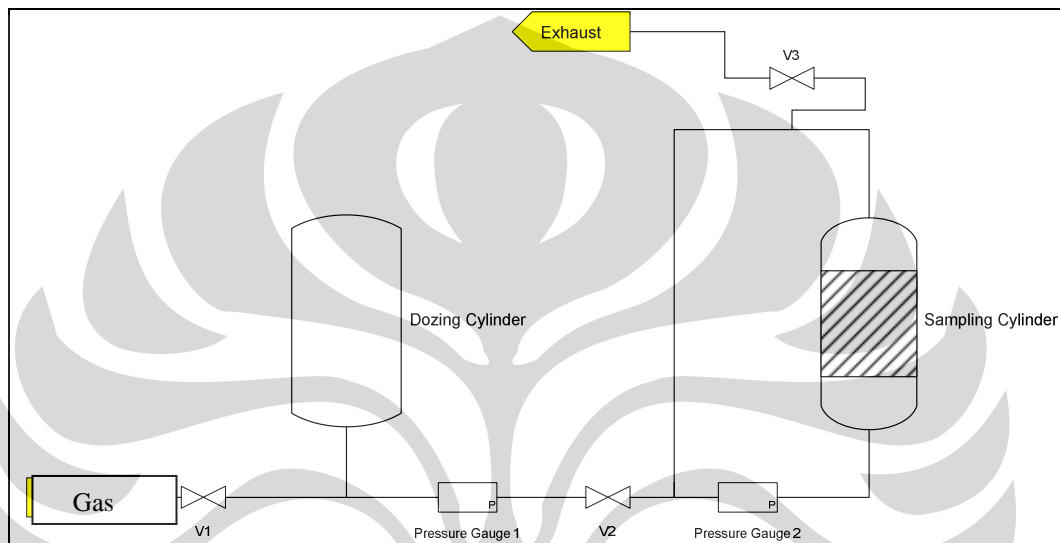
Adapun alat uji adsorpsi yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah peralatan uji adsorpsi yang sudah ada di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam Departemen Teknik Kimia. Selain itu, sinyal keluaran transducer juga akan dihubungkan dengan data aquisisi, sehingga dapat diamati perubahan tekanan adsorpsi setiap waktu.

### **3.2.3 Pengujian Kapasitas Adsorpsi Metana (atau Hidrogen)**

Pada analisis ini adsorbat yang dipakai adalah gas hidrogen dan metana (CH<sub>4</sub>). Prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut: [Goodman et al. 2004]

1. Sebelum pengujian adsorpsi metana dan hidrogen dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengetesan kebocoran. Alat diisi dengan adsorben dan gas Helium dengan tekanan tertentu kemudian dibiarkan selama 5 jam. Kebocoran diindikasikan dengan terbentuknya gelembung sabun jika peralatan diolesi cairan sabun serta terjadi penurunan tekanan.

Peralatan yang digunakan adalah seperti pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Skema Alat untuk Analisa Daya Adsorpsi Karbon Aktif

## 2. Kalibrasi *volume void Sampling Cylinder*

Pada *sampling cylinder* terdapat karbon aktif sebagai adsorben dengan massa karbon aktif yang dimasukkan sebanyak 2 gram atau 1 gram. *Volume void* dari *Sampling Cylinder* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *Sampling Cylinder*.

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

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

- a. Mengisi *dozing cylinder* dengan gas He sampai penuh dengan cara membuka *valve* V-1 dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Sementara itu, *valve* V-2 dalam keadaan tertutup dan semua pompa vakum dalam keadaan mati. *Valve* V-1 ditutup ketika *dozing cylinder* telah terisi penuh. Setelah itu, mencatat temperatur ( $T_i$ ) dan tekanan ( $P_i$ ) *dozing*

*cylinder*. Dengan data ini, maka kita bisa mengetahui jumlah mol He yang terdapat pada *dozing cylinder* menurut persamaan 3.2.

$$n = \frac{P_i V_{dozing\ cylinder}}{Z_{He_i} RT_i} \quad (3.2)$$

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

- b. Membuka *valve* V-2 dan mengalirkan gas He tersebut ke dalam *Sampling Cylinder*. Ketika semua gas He telah masuk ke dalam *Sampling Cylinder*, menutup *valve* V-2 serta mencatat temperatur ( $T_f$ ) dan tekanan ( $P_f$ ) 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 3.3.

$$n_i = \left( \frac{P_i}{Z_{He_i} RT_i} - \frac{P_f}{Z_{He_f} RT_f} \right) V_{dozing\ cylinder} \quad (3.3)$$

- c. Mencari *volume void* dari *Sampling Cylinder*. Data yang sudah diketahui adalah  $n_i$ , temperatur *sampling cylinder* ( $T_f$ ), tekanan *sampling cylinder* ( $P_f$ ). Persamaan 3.4 digunakan untuk menghitung *volume void*.

$$V_{void} = \frac{n_i Z_{He} RT_f}{P_f} \quad (3.4)$$

- d. Mengeluarkan gas He dari *Sampling Cylinder* dengan menyalakan *vacuum pump* 2.

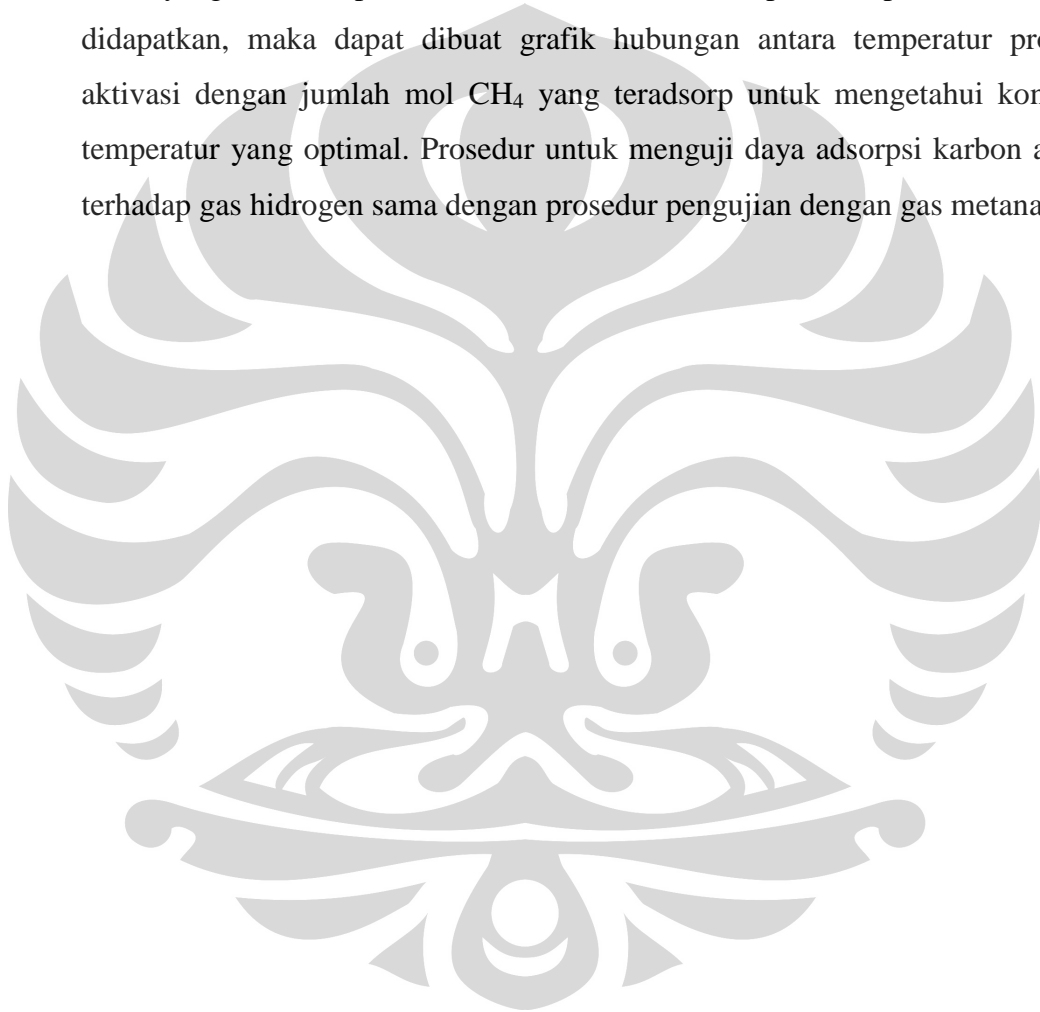
### 3. Adsorpsi Gas Metana (atau $H_2$ )

- a. Mengisi *dozing cylinder* dengan gas  $CH_4$  dengan membuka *valve* V-1 dan mengalirkannya ke *dozing cylinder* sampai penuh. Setelah penuh, *valve* V-1 ditutup dan mencatat temperatur ( $T_i$ ) dan tekanan ( $P_i$ )  $CH_4$  di *dozing cylinder*. Semua pompa dalam keadaan mati.
- b. Mengalirkan gas  $CH_4$  ke *Sampling Cylinder* dengan membuka *valve* V-2. Ketika semua gas  $CH_4$  telah masuk ke dalam *Sampling Cylinder*, menutup *valve* V-2 serta mencatat temperatur ( $T_f$ ) dan tekanan ( $P_f$ ) dari gas  $CH_4$  pada *Sampling Cylinder*.
- c. Mencari jumlah mol zat yang teradsorpsi dengan menggunakan persamaan 3.5.

$$n_{CH_4 \text{ teradsorp}} = n_{CH_4 i} - n_{CH_4 \text{ tidak teradsorp}}$$

$$n_{CH_4 \text{ teradsorp}} = \left[ \left( \frac{P_i}{Z_{CH_4 i} RT_i} - \frac{P_f}{Z_{CH_4 f} RT_f} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \right] - \left[ \frac{P_f V_{\text{void}}}{Z_{CH_4 f} RT_f} \right] \quad (3.5)$$

4. Prosedur di atas dilakukan untuk setiap produk karbon aktif yang didapatkan dari semua variasi temperatur proses aktivasi. Setelah semua data jumlah mol  $CH_4$  yang teradsorp untuk semua variasi temperatur proses aktivasi didapatkan, maka dapat dibuat grafik hubungan antara temperatur proses aktivasi dengan jumlah mol  $CH_4$  yang teradsorp untuk mengetahui kondisi temperatur yang optimal. Prosedur untuk menguji daya adsorpsi karbon aktif terhadap gas hidrogen sama dengan prosedur pengujian dengan gas metana.



## BAB IV

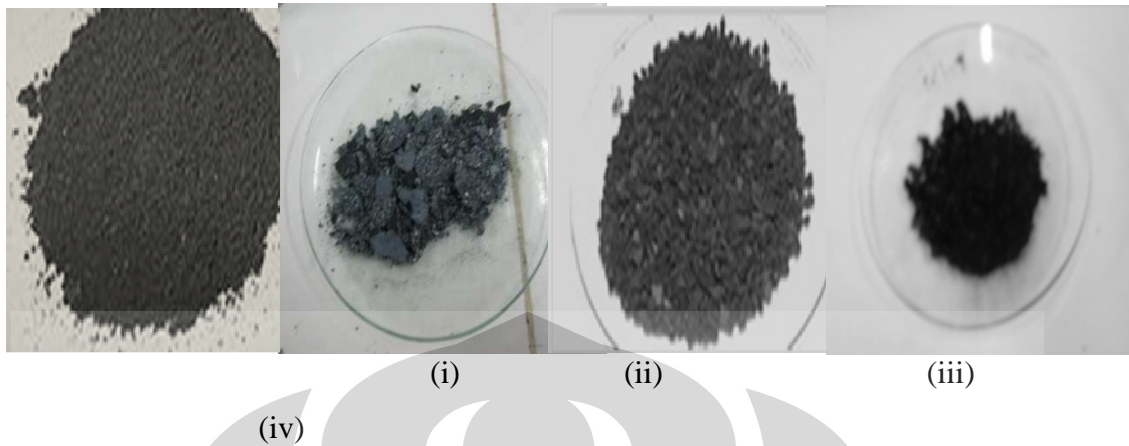
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Preparasi Adsorben

Adsorben yang digunakan pada penelitian adalah karbon aktif dari bahan baku batubara dan tempurung kelapa yang dibuat di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Batubara yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif adalah batubara ombilin dan tempurung kelapa yang digunakan adalah tempurung kelapa tua. Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari empat macam yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 yaitu,

- (i) Karbon aktif dari batubara yang dibuat dengan metode aktivasi kimiawi menggunakan larutan KOH dengan perbandingan antara KOH dan bahan baku 4 : 1 pada temperatur aktivasi 900° C (BB, 4:1, 900).
- (ii) Karbon aktif dari tempurung kelapa yang dibuat dengan metode aktivasi kimiawi menggunakan larutan KOH dengan perbandingan antara KOH dan bahan baku 4:1 pada temperatur aktivasi 700° C (ATK, 4:1, 700).
- (iii) Karbon aktif dari tempurung kelapa yang dibuat dengan metode aktivasi kimiawi menggunakan larutan KOH dengan perbandingan antara KOH dan bahan baku 3:1 pada temperatur aktivasi 700° C (ATK, 3:1, 700).
- (iv) Karbon aktif dari batubara yang dibuat dengan metode aktivasi kimiawi menggunakan larutan KOH dengan perbandingan antara KOH dan bahan baku 3:1 pada temperatur aktivasi 700° C (BB, 3:1, 700).





**Gambar 4.1** Karbon aktif (i) dari Batubara, KOH/Batubara = 4:1, 900° C, (ii) dari Tempurung Kelapa, KOH/Tempurung = 4:1, 700° C, (iii) dari Tempurung Kelapa, KOH/Tempurung = 3:1, 700° C, (iv) dari Batubara, KOH/Batubara = 3:1, 700° C .

Keempat jenis karbon aktif tersebut telah dianalisis dengan Uji BET di Laboratorium dan hasil uji tersebut dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 . Luas Permukaan Karbon Aktif dari Hasil Karakterisasi BET**

<b>Karbon Aktif</b>	<b>Luas Permukaan (m<sup>2</sup>/gr)</b>
Batubara, 4/1, 900° C	376
Tempurung Kelapa, 4/1, 700° C	704
Tempurung Kelapa, 3/1, 700° C	247
Batubara, 3/1, 700° C	848

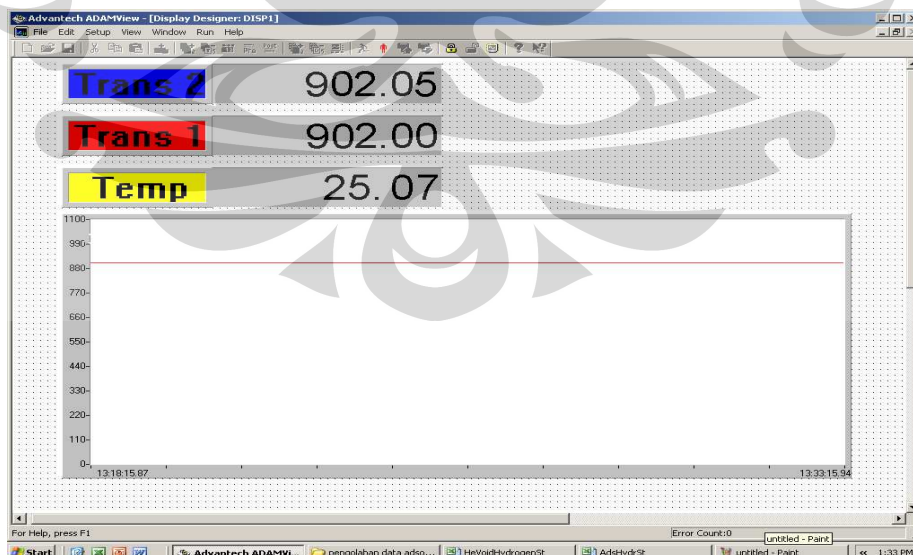
Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa luas permukaan tertinggi diperoleh dari karbon aktif dengan bahan baku batubara dengan perbandingan KOH/Bahan baku = 3 : 1 dan proses aktivasi pada 700 °C, yaitu 848 m<sup>2</sup>/gram.

## 4.2. Hasil Uji Kebocoran

Tes kebocoran dilakukan terlebih dahulu sebelum alat digunakan. Gelembung sabun digunakan untuk mendeteksi kebocoran. Cara penggunaannya adalah dengan mengoleskan cairan sabun di permukaan luar pipa dan sambungan-sambungan. Jika terjadi kebocoran, maka gelembung sabun akan terlihat dan kebocoran dapat langsung diatasi. Selain itu, kebocoran juga dapat membahayakan lingkungan sekitar serta peneliti dan orang-orang yang berada di laboratorium karena pada adsorpsi ini menggunakan gas bertekanan tinggi, yaitu helium dan hidrogen.

Uji kebocoran dilakukan sebelum pengambilan data masing-masing sampel karbon aktif selama sekitar 5 jam. Jika dalam selang waktu tersebut tekanan pada dozing dan sampling cenderung konstan dan tidak menurun serta tidak terbentuk gelembung sabun maka peralatan adsorpsi tersebut dapat digunakan.

Dari tes kebocoran yang telah dilakukan, selama selang waktu 5 jam penurunan tekanan yang terjadi hanya kurang dari 1 psia dan tidak terbentuk gelembung sabun. Penurunan tekanan yang terjadi juga dipengaruhi oleh suhu ruang yang sulit untuk stabil.



Gambar 4.2. Kurva Uji Kebocoran pada Tampilan ADAMView

Kurva uji kebocoran dapat dilihat pada Gambar 4.2. Garis lurus berwarna merah menunjukkan tekanan yang cenderung stabil dan konstan yang mengindikasikan tidak terjadi kebocoran alat.

### 4.3. Hasil Pengukuran Volume Void

Untuk mengetahui volume *void* pada *sampling cylinder*, perlu dialirkan gas helium yang bersifat inert ke dalam *sampling cylinder* dengan variasi tekanan pada kondisi isothermal, hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan pembacaan display akibat ketidakstabilan sistem pada tekanan tinggi. Volume *void* dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.3 :

$$n = \left( \frac{P_i}{Z_{Hei}RT_i} - \frac{P_f}{Z_{Hef}RT_f} \right) V_{dozing\ cylinder} \quad (3.3)$$

dengan

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

dimana  $n$  = jumlah mol gas He yang diinjeksikan ke *sampling cylinder*

$P_i$  = Tekanan awal *dozing cylinder*

$P_f$  = Tekanan akhir *dozing cylinder*

$T$  = Temperatur

$Z_{Hei}$  = faktor kompresibilitas pada kondisi  $P_i$  dan  $T$

$Z_{Hef}$  = faktor kompresibilitas pada kondisi  $P_f$  dan  $T$

Pengukuran volume *dozing cylinder* dilakukan dengan cara memasukkan air ke *dozing cylinder* hingga penuh. Setelah penuh, air dari *dozing cylinder* dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk mengetahui volume total yang masuk ke *dozing cylinder*. Volum total *dozing cylinder* yang didapat adalah 23 mL (Prolesara, 2009).

Jumlah adsorben yang ada pada *sampling cylinder* harus diketahui beratnya, karena berpengaruh terhadap volume *void* yang ditunjukkan. Pengukuran volume *void* menggunakan Helium dilakukan untuk masing-masing sampel. Volume *void*

Helium yang diperoleh pun berbeda-beda besarnya. Gas Helium digunakan untuk menghitung volume *void* karena gas Helium tidak teradsorpsi oleh karbon aktif disebabkan 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](http://mimp.mems.cmu.edu/~ordofmag/orders_of_magnitude.htm), 2004).

Data volume *void* yang diperoleh dari masing-masing karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 . Volume Void Karbon Aktif**

No	Karbon Aktif	Kodifikasi	Massa Karbon Aktif yang digunakan (gram)	Volume <i>void</i> (mL)	Luas Permukaan BET (m <sup>2</sup> /gram)
1	Batubara, 4/1, 900° C	BB, 4:1, 900	2.00	13.79	376
2	Tempurung Kelapa, 4/1, 700° C	ATK, 4:1, 700	1.04	14.51	704
3	Tempurung Kelapa, 3/1, 700° C	ATK, 3 : 1, 700	1.13	14.18	247
4	Batubara, 3/1, 700° C	BB, 3:1, 700	0.97	14.36	848

Tabel perhitungan volume *void* yang lebih terperinci dari masing-masing sampel karbon aktif dicantumkan pada bagian lampiran. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa semakin besar massa karbon aktif yang dimasukkan maka volume *void* yang dimiliki akan lebih kecil karena pada volume ruang *sampling cylinder* akan lebih sedikit ruang kosong yang tidak terisi oleh karbon aktif.

Dari nilai-nilai yang terdapat dalam tabel dapat diketahui bahwa karbon aktif nomor 2 (yaitu karbon aktif dari tempurung kelapa dengan perbandingan KOH: tempurung kelapa = 4:1 memiliki volume *void* yang paling besar). Kemudian, urutan selanjutnya adalah karbon aktif nomor 4, nomor 3, dan yang terkecil adalah nomor 1. Berdasarkan persamaan 3.1 volume pori karbon aktif berbanding lurus dengan volume *void*.

Massa karbon aktif nomor 1 yang digunakan sekitar dua kali lipat massa karbon aktif lainnya, tetapi besar volume voidnya tidak terlalu jauh berbeda dengan karbon aktif lainnya, perbedaannya hanya kurang dari 1 ml. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan struktur dan jumlah pori yang dimiliki oleh masing-masing karbon aktif tersebut.

Berdasarkan teori, semakin tinggi suhu aktivasi (sampai batas yang optimum) maka semakin banyak bahan yang terbakar dan semakin banyak pula pori-pori yang terbentuk, serta semakin besar perbandingan KOH/bahan baku yang digunakan (sampai batas yang optimum), maka pembentukan pori-pori akan semakin banyak terjadi (Garcia-Garcia et al., 2002). Jika kita bandingkan sampel karbon aktif yang berbahan dasar tempurung kelapa, volume *void* yang diperoleh cukup sesuai dengan teori yang ada, karbon aktif dari tempurung kelapa dengan suhu aktivasi yang sama dan perbandingan KOH: bahan baku yang berbeda menghasilkan nilai volume *void* yang berbeda pula, yaitu yang perbandingannya lebih tinggi menghasilkan volume *void* yang lebih besar. Namun tidak demikian halnya yang terjadi pada sampel karbon aktif dari batubara. Sampel karbon aktif dari batubara (i) memiliki volume *void* yang lebih kecil dibandingkan sampel (iv). Hal ini kemungkinan terjadi karena sampel (i) yang digunakan telah cukup lama didiamkan setelah pembuatannya dan tidak tersimpan dalam tempat yang terisolasi dengan cukup baik sehingga sebagian dari pori-porinya telah terisi zat lain yang ikut teradsorpsi oleh karbon aktif tersebut atau proses pencucian yang dilakukan belum maksimal sehingga masih terdapat pengotor-pengotor.

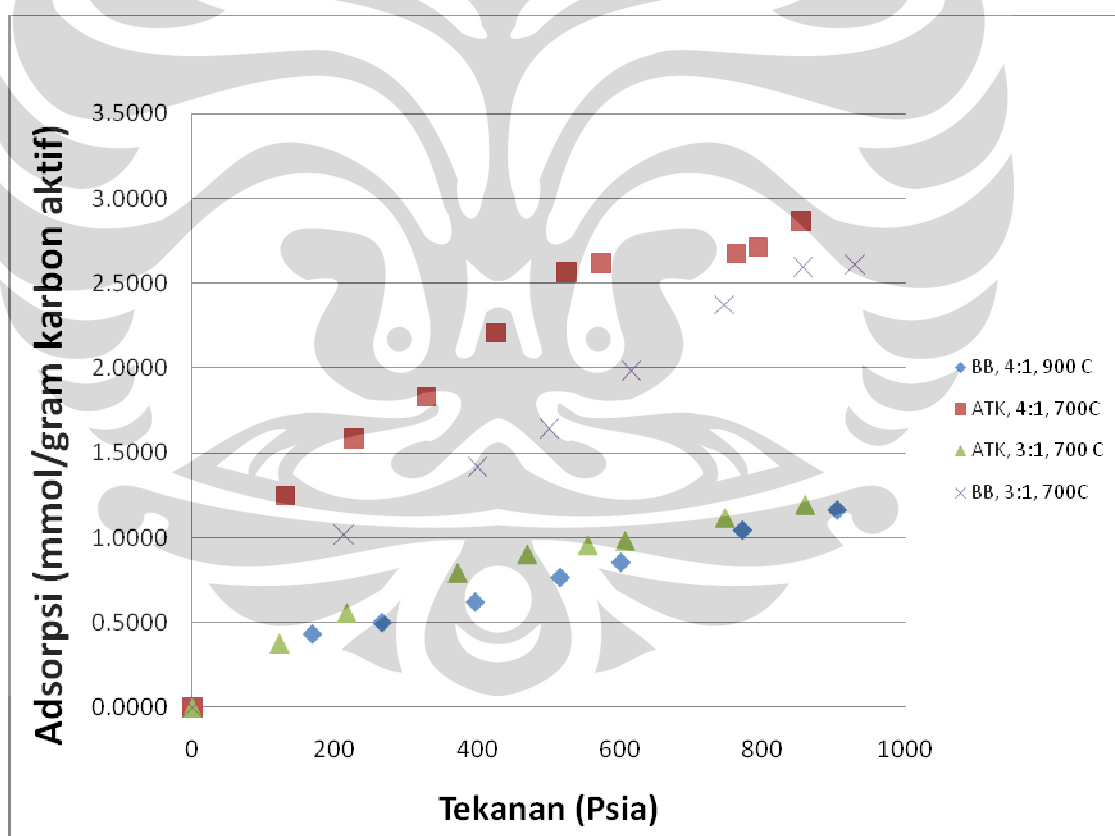
#### **4.4 Hasil Uji Kapasitas Adsorpsi**

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas adsorpsi karbon aktif yang telah dibuat di Laboratorium DTK FTUI (Pujiyanto, 2010) terhadap gas hidrogen dan metana dengan mendapatkan data kuantitas mol gas hidrogen dan metana yang teradsorpsi oleh karbon aktif dan membandingkan besarnya daya adsorpsi keempat sampel karbon aktif yang diuji. Dari hasil penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan dapat dilihat kapasitas adsorpsi karbon aktif dari batubara dan tempurung kelapa

dengan variasi temperatur aktivasi dan perbandingan KOH dengan bahan baku yang dibuat di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

#### 4.4.1 Adsorpsi Metana

Pada keempat macam adsorbat karbon aktif yang digunakan, jumlah mol metana yang teradsorpsi berbeda-beda. Kapasitas adsorpsi yang paling tinggi dimiliki oleh karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivasi kimia dengan perbandingan KOH: tempurung = 4:1 yang diaktivasi pada suhu 700° C. Sedangkan yang memiliki kapasitas adsorpsi paling rendah adalah karbon aktif dari batubara dengan perbandingan KOH: Batubara = 4 : 1 yang diaktivasi pada suhu 900 ° C. Profil data yang diperoleh dari uji kapasitas asorpsi metana pada masing-masing karbon aktif yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Adsorpsi Metana pada Karbon Aktif yang dibuat di DTK UI.

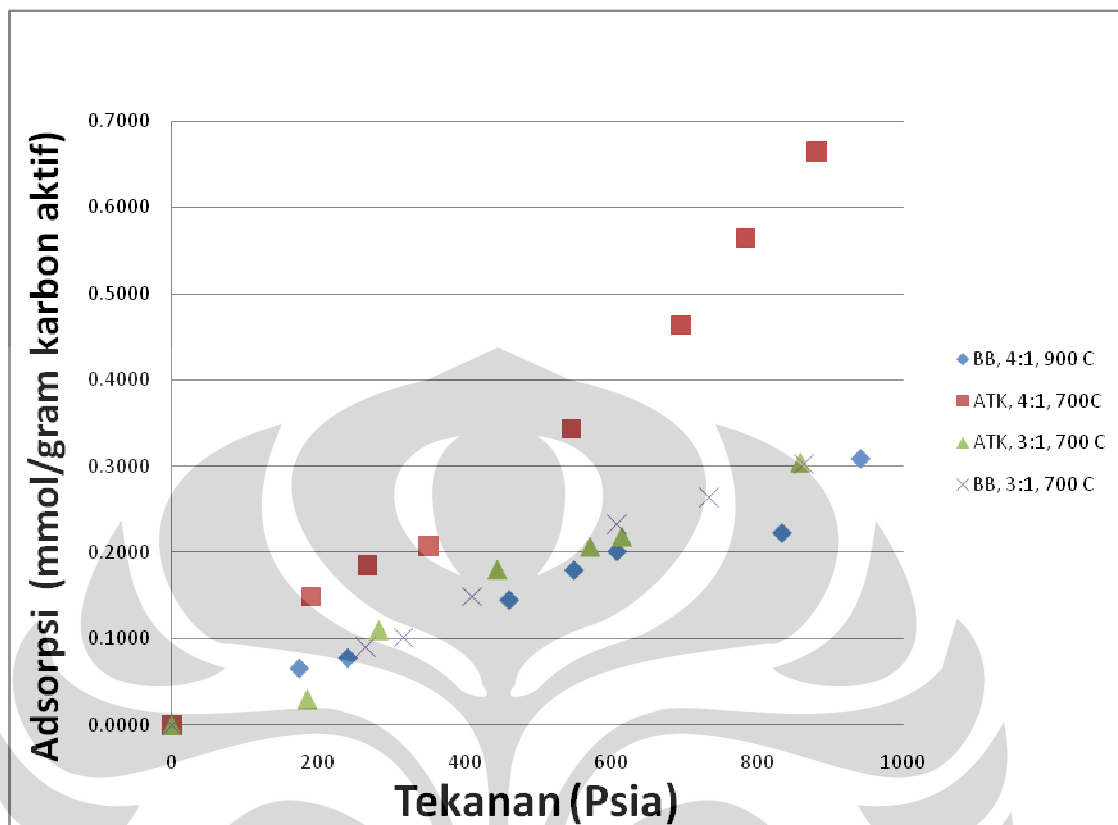
Pada tekanan sekitar 900 psia karbon aktif ATK, 4:1, 700 C mengadsorpsi sebanyak 2.8 mmol gas metana per gram karbon aktif. Sedangkan karbon aktif

ATK, 3:1, 700 C mengadsorpsi sekitar 1.1 mmol gas metana per gram karbon aktif. Daya adsorpsi karbon aktif yang berasal dari bahan yang sama dengan perbedaan banyaknya zat aktivator yang digunakan berbeda cukup signifikan, yaitu mol metana teradsorpsi pada ATK, 4:1, 700 sekitar 2.5 kali lipat dibandingkan ATK, 3:1, 700. Pada kisaran tekanan yang sama, karbon aktif BB, 3:1, 700 mengadsorpsi sekitar 2.6 mmol gas metana. Sedangkan karbon aktif BB, 4:1, 900 hanya mengadsorpsi sekitar 1.0 mmol gas metana. Daya adsorpsi karbon aktif BB, 3:1, 700 sekitar 2.6 kali lipat dari karbon aktif BB, 4:1, 700. Perbedaan daya adsorpsi metana pada keempat karbon aktif tersebut terjadi karena adanya perbedaan luas permukaan dan volume pori yang dimiliki karbon aktif.

Jumlah mol metana yang teradsorpsi oleh karbon aktif semakin meningkat jika tekanan dinaikkan. Dengan kata lain, kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan peningkatan tekanan penyimpanan (pada kondisi isothermal). Hubungan antara tekanan dan kapasitas adsorpsi yang berbanding lurus ini terjadi pada jenis adsorpsi fisika. Sedangkan pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang teradsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan. Karbon aktif yang memiliki luas permukaan besar cenderung mempunyai daya adsorpsi metana yang cukup tinggi pula. Hal ini disebabkan banyaknya pori-pori yang dimiliki oleh karbon aktif berpengaruh terhadap banyaknya molekul gas metana yang dapat dijerap oleh karbon aktif tersebut, yaitu semakin banyak pula metana teradsorpsi.

#### **4.4.2 Adsorpsi Hidrogen**

Seperti pada adsorpsi metana, gas hidrogen yang teradsorpsi pada masing-masing karbon aktif berbeda kuantitasnya. Pada tekanan sekitar 900 psia, karbon aktif ATK, 4:1, 700 paling banyak mengadsorpsi gas hidrogen yaitu sekitar 0.6 mmol per gram karbon aktif, yaitu dua kali lipat daya adsorpsi karbon aktif dari bahan baku yang sama ATK, 3:1, 700 yang banyaknya sekitar 0.3 mmol per gram karbon aktif. Karbon aktif BB, 3:1, 700 mengadsorpsi sekitar 0.3 mmol hidrogen per gramnya. Sedangkan Karbon aktif BB, 4:1, 900 mengadsorpsi sekitar 0.25 mmol per gram karbon aktif. Perbedaannya tidak terlalu signifikan. Grafik yang menunjukkan data adsorpsi hidrogen pada karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif yang dibuat di DTK UI.

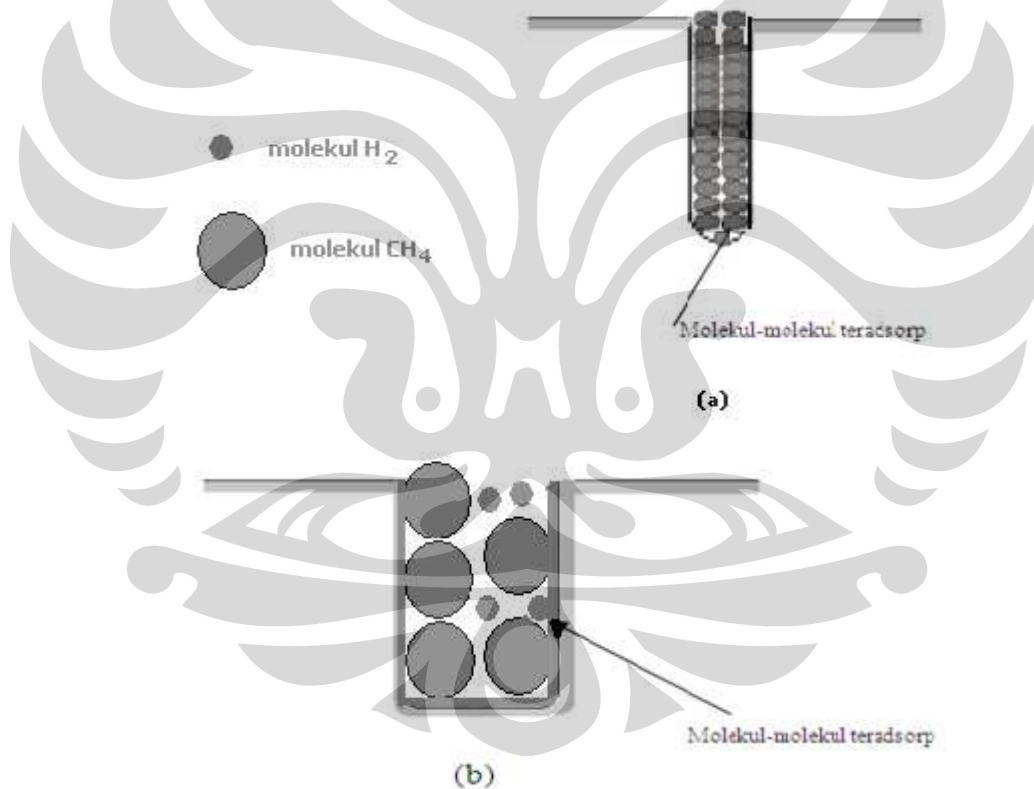
Secara umum dapat kita lihat bahwa seiring dengan kenaikan tekanan, jumlah mol hidrogen yang teradsorpsi oleh karbon aktif semakin meningkat. Adsorpsi hidrogen pada karbon aktif juga termasuk proses adsorpsi fisis.

Jika dibandingkan antara daya adsorpsi karbon aktif terhadap metana dengan daya adsorpsinya terhadap hidrogen besarnya tidak sebanding meskipun memiliki kecenderungan yang hampir sama dari segi urutan adsorben yang tertinggi ke terendah. Hal ini disebabkan adanya perbedaan ukuran diameter molekul gas metana dengan hidrogen sehingga dalam volume yang sama daya tampung terhadap kedua gas tersebut berbeda. Gas hidrogen mempunyai diameter molekul yang lebih kecil dibandingkan dengan metana. Hidrogen menempati volume mikropori sedangkan metana teradsorpsi pada pori-pori yang berukuran lebih besar yaitu mesopori dan makropori. Daya adsorpsi hidrogen yang bernilai kecil menunjukkan bahwa sebagian besar pori-pori yang dimiliki oleh karbon aktif masih berukuran makro dan mesopori, dan lebih sedikit mikropori.



Perbedaan daya adsorpsi juga disebabkan jenis adsorbat yang berbeda akan memiliki ikatan antara adsorbat dengan adsorben berbeda pula.

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada pori-pori yang berukuran kecil (mikropori), molekul-molekul gas hidrogen dapat lebih mudah teradsorpsi sedangkan molekul gas metana tidak dapat memasuki pori-pori tersebut karena ukuran molekulnya yang lebih besar daripada ukuran pori-pori. Pada pori-pori dengan diameter ukuran yang lebih besar (makropori dan mesopori) molekul metana lebih mudah teradsorpsi dibandingkan dengan hidrogen. Hidrogen cenderung lolos, lebih sulit terjebak, dan sebagian besar hanya sebagai fasa ruah (*bulk*) yang mengisi bagian dalam pori-pori selain permukaan, sehingga lebih sedikit mol gas teradsorpsi.

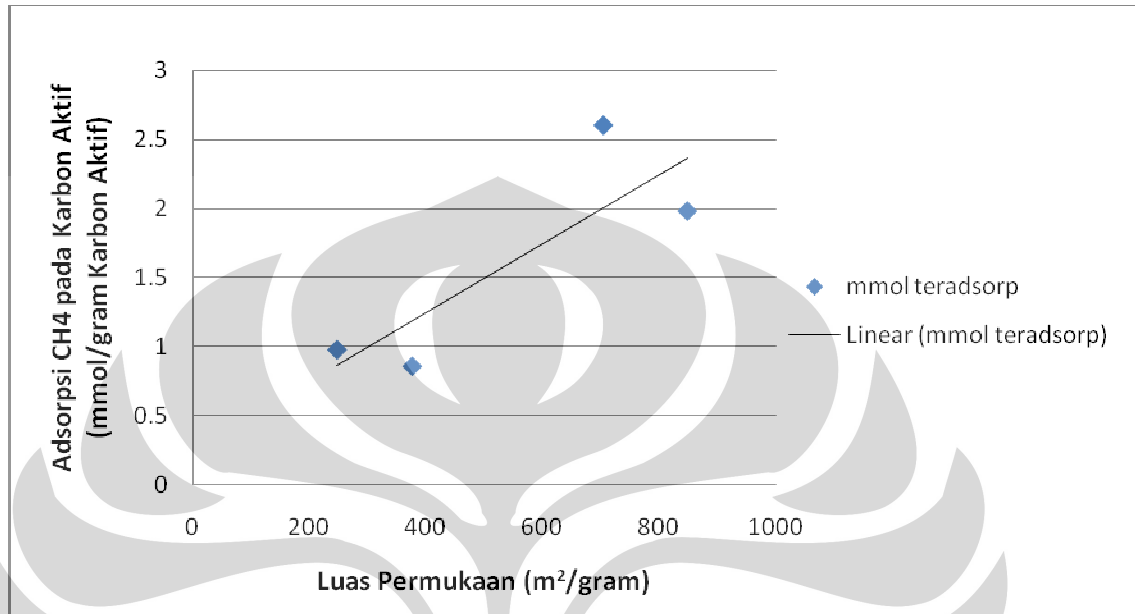


**Gambar 4.5.** Ilustrasi Adsorpsi pada Permukaan Karbon Aktif

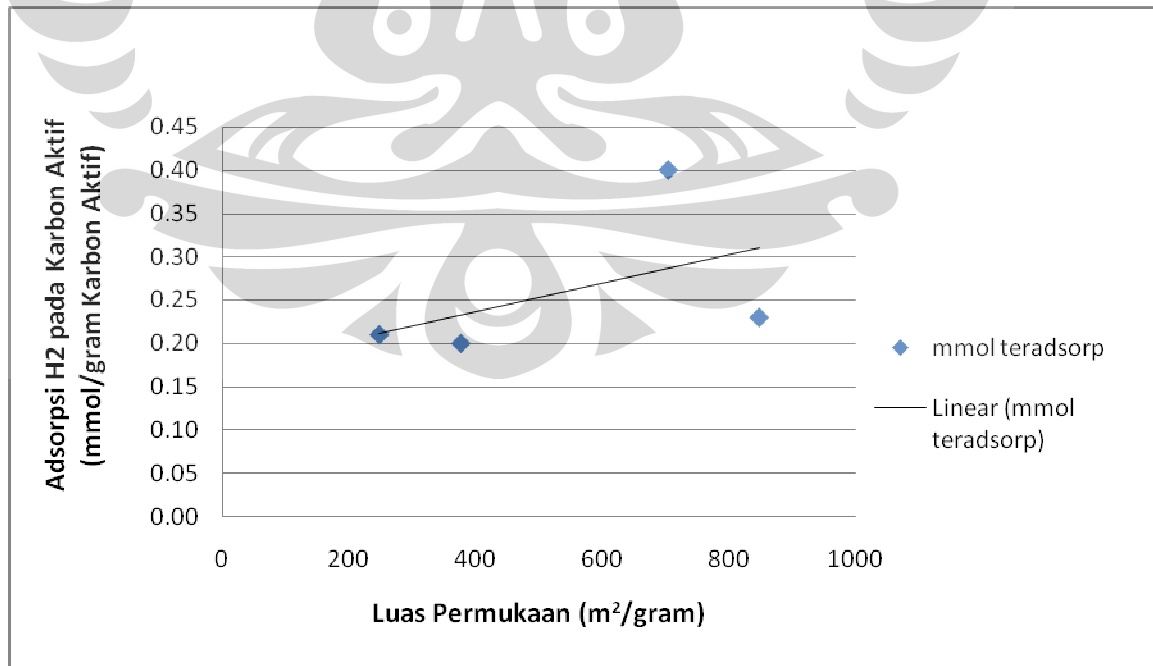
#### 4.4.3 Hubungan antara Luas Permukaan dengan Kapasitas Adsorpsi

Dari data luas permukaan dan daya adsorpsi karbon aktif, dapat dilakukan perbandingan dan dianalisis karakteristik dari karbon aktif-karbon aktif tersebut

yang menyebabkan terjadinya perbedaan. Hubungan antara luas permukaan dengan daya adsorpsi karbon aktif terhadap gas metana dan hidrogen pada suatu tekanan tertentu (600 psia) divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.6 dan 4.7.



**Gambar 4.6.** Grafik Hubungan antara Luas Permukaan Karbon Aktif dengan Kapasitas Adsorpsi terhadap Metana pada tekanan 600 psia.

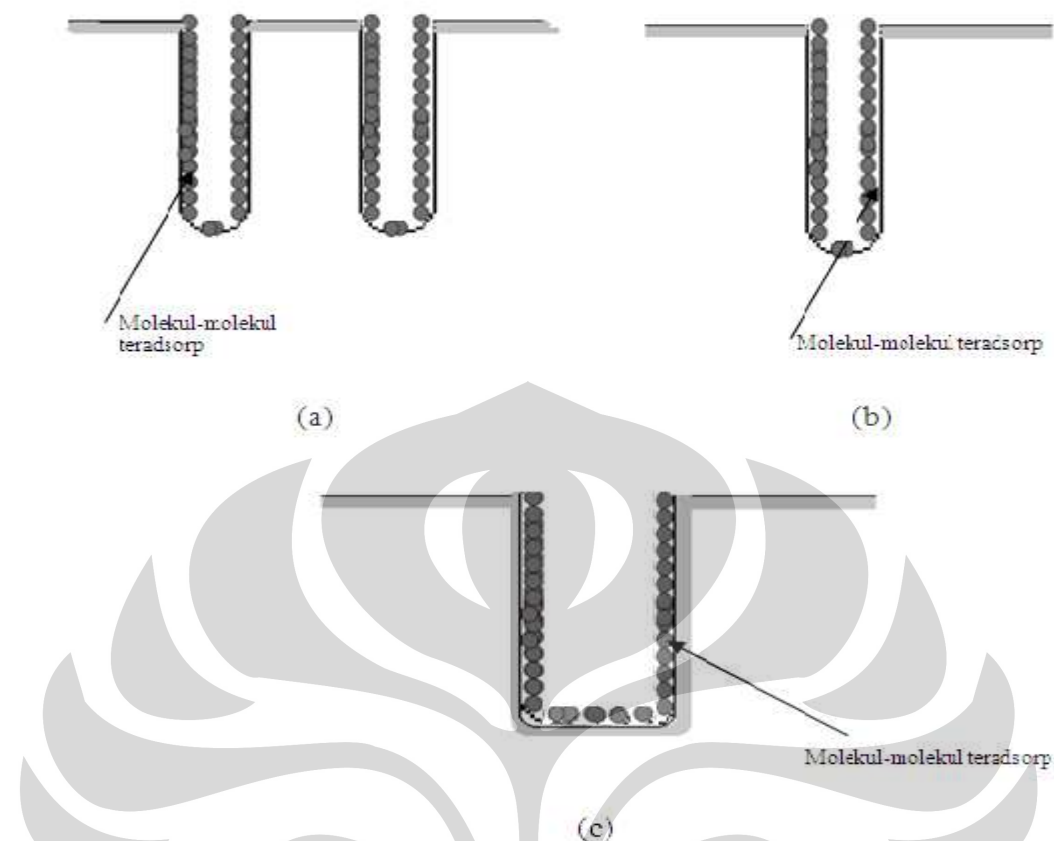


**Gambar 4.7.** Grafik Hubungan antara Luas Permukaan Karbon Aktif dengan Kapasitas Adsorpsi terhadap Hidrogen pada tekanan 600 psia.

Dari Grafik 4.6 dan 4.7 dapat kita lihat dan simpulkan bahwa besarnya daya adsorpsi karbon aktif tidak selalu sebanding dengan luas permukaan dari karbon aktif tersebut. Kapasitas atau daya adsorpsi berhubungan dengan volume ruang kosong yang tersedia untuk ditempati oleh adsorbat. Semakin besar volume ruang kosong (*void*) yang dimiliki oleh adsorben maka daya tampungnya terhadap adsorbat akan semakin besar.

Besarnya volume *void* dan luas permukaan berhubungan erat dengan bentuk dan distribusi pori-pori karbon aktif tersebut. Adsorben yang mempunyai luas permukaan yang lebih tinggi tidak selalu memiliki volume *void* yang lebih besar pula. Luas permukaan yang tinggi dapat disebabkan banyaknya pori-pori yang dimiliki oleh adsorben namun pori-pori tersebut hanya berbentuk celah yang sangat sempit sehingga volume *void*-nya kecil dan adsorbat tidak dapat memasuki celah tersebut. Adsorben yang memiliki volume *void* yang besar juga tidak berarti memiliki luas permukaan yang besar. Volume *void* yang besar dapat disebabkan oleh besarnya ukuran pori-pori yang dimiliki adsorben, namun bisa saja jumlah pori-pori tersebut tidak banyak sehingga luas permukaannya kecil.

Gambaran secara kasar bentuk permukaan karbon aktif yang memiliki luas permukaan yang tinggi dan volume pori yang besar dapat dilihat pada Gambar 4.8 (a). Gambar 4.8 (c) menunjukkan gambaran permukaan karbon aktif dengan volume yang hampir sama besar dengan (a) tetapi luas permukaannya lebih kecil. Hal ini disebabkan bentuk pori-porinya yang lebih besar sehingga luas permukaannya kecil. Bentuk pori-pori seperti pada gambar (a) memberikan nilai luas permukaan yang lebih besar karena bentuk porinya yang dalam, berlekuk-lekuk dan lebih banyak jumlahnya. Gambar (b) menunjukkan gambaran bentuk karbon aktif pada ukuran yang sama dengan lainnya tetapi memiliki luas permukaan maupun volume pori yang lebih kecil.



**Gambar 4.8** Ilustrasi struktur permukaan karbon aktif. (a). Karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan volume pori yang besar. (b). Karbon aktif dengan luas permukaan dan volume pori yang lebih kecil dibandingkan (a). (c). Karbon aktif dengan luas permukaan yang lebih kecil namun volume yang hampir sama besarnya dengan (a).

Selain luas permukaan dan volume *void*, jumlah mol zat yang teradsorpsi pada suatu adsorbat juga dipengaruhi oleh interaksi antara adsorben dengan adsorbat. Ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat yang lebih kuat akan memungkinkan lebih banyak adsorbat yang terjerap pada adsorben meskipun luas permukaannya lebih kecil karena adsorbat lebih mudah menempel dan terikat pada permukaan adsorben.

#### 4.4.4 Representasi Data dengan Model Langmuir

Pada masing-masing grafik data adsorpsi karbon aktif terhadap metana dan hidrogen dibuat plot berdasarkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Model

Langmuir dipilih karena persamaannya yang cukup sederhana. Selain itu, tekanan yang digunakan dalam percobaan tidak terlalu tinggi dan belum mencapai tekanan jenuh, sehingga adsorpsi yang terjadi masih dapat diasumsikan sebagai adsorpsi *monolayer* serta data pada adsorpsi karbon aktif terhadap metana dan hidrogen masih mengikuti model Langmuir. Representasi data percobaan dan kesesuaiannya dengan isoterm Langmuir dapat dilihat dari data dalam Tabel 4.3. Pada model Langmuir, terdapat beberapa parameter, yaitu konstanta adsorpsi Langmuir ( $b$ ), dan kapasitas adsorpsi maksimum ( $n_{maks}$ ). Parameter-parameter tersebut dipengaruhi oleh tekanan, temperatur, dan jenis adsorbat, dan jenis adsorben. Persamaan model Langmuir yang digunakan terdapat pada Persamaan 4.1.

$$n_{gibbs} = n_{maks} \frac{bP}{1 + bP} \quad (4.1)$$

dengan

$$b = b_0 \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (4.2)$$

dan

$$b_0 = \frac{\alpha}{k_d \sqrt{2\pi MRT}} \quad (4.3)$$

dimana  $P$  adalah tekanan dalam satuan psia dan  $n_{maks}$  merupakan kapasitas adsorpsi maksimum (mmol/g). Nilai  $n_{maks}$  dan tekanan berbanding lurus sehingga nilai kapasitas adsorpsi akan terus meningkat seiring dengan kenaikan nilai tekanan. Selain itu,  $n_{maks}$  juga dipengaruhi oleh temperatur adsorpsi. Semakin tinggi temperatur adsorpsi, maka kapasitas adsorpsi pada adsorben semakin menurun. Hal ini terjadi karena peningkatan temperatur mempengaruhi nilai kalor adsorpsi, dimana ketika temperatur naik, nilai kalor adsorpsi akan menurun.

Besarnya nilai konstanta adsorpsi Langmuir ( $b$ ) bergantung pada temperatur sistem. Nilai  $b$  ini juga menunjukkan seberapa besar energi interaksi antara molekul gas dengan inti aktif adsorben. Konstanta  $b$  dapat ditunjukkan dengan persamaan  $b = \left(\frac{\alpha}{k_d \sqrt{2\pi MRT}}\right) \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$ . Nilai  $b$  berbanding terbalik dengan

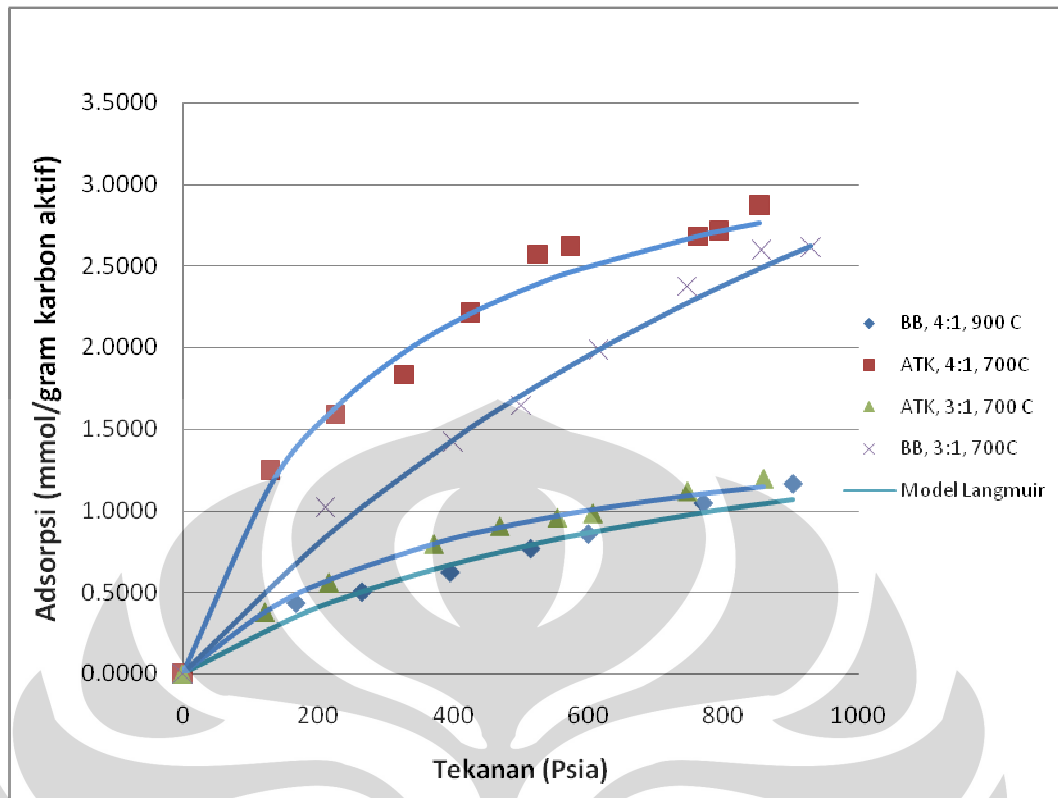
temperatur. Semakin tinggi temperatur, maka ikatan antara molekul gas dan inti aktif adsorben akan semakin rendah. Peningkatan temperatur akan menyebabkan penurunan nilai  $b$  karena akan menyebabkan difusivitas molekul adsorbat ke permukaan menjadi lebih rendah.

Tabel 4.3 menunjukkan hasil yang diperoleh dari permodelan Langmuir dari data-data dalam penelitian. % AAD adalah nilai deviasi absolut rata-rata yang menunjukkan besarnya penyimpangan data sebenarnya dari percobaan terhadap model Langmuir.

**Tabel 4.3.** Model Persamaan Isotermis Langmuir

Adsorbat	Adsorbent	Parameter Langmuir		% AAD
		$n_{max}$	$b$	
CH <sub>4</sub>	BB, 4:1, 900	2.0094	0.0012	6.29
	ATK, 4:1, 700	3.6928	0.0035	3.86
	ATK, 3:1, 700	1.7223	0.0023	1.34
	BB, 3:1, 700	7.0571	0.0006	4.44
H <sub>2</sub>	BB, 4:1, 900	0.8458	0.0005	6.94
	ATK, 4:1, 700	2.0319	0.0004	10.70
	ATK, 3:1, 700	1.6248	0.0003	2.65
	BB, 3:1, 700	1.5939	0.0003	7.65

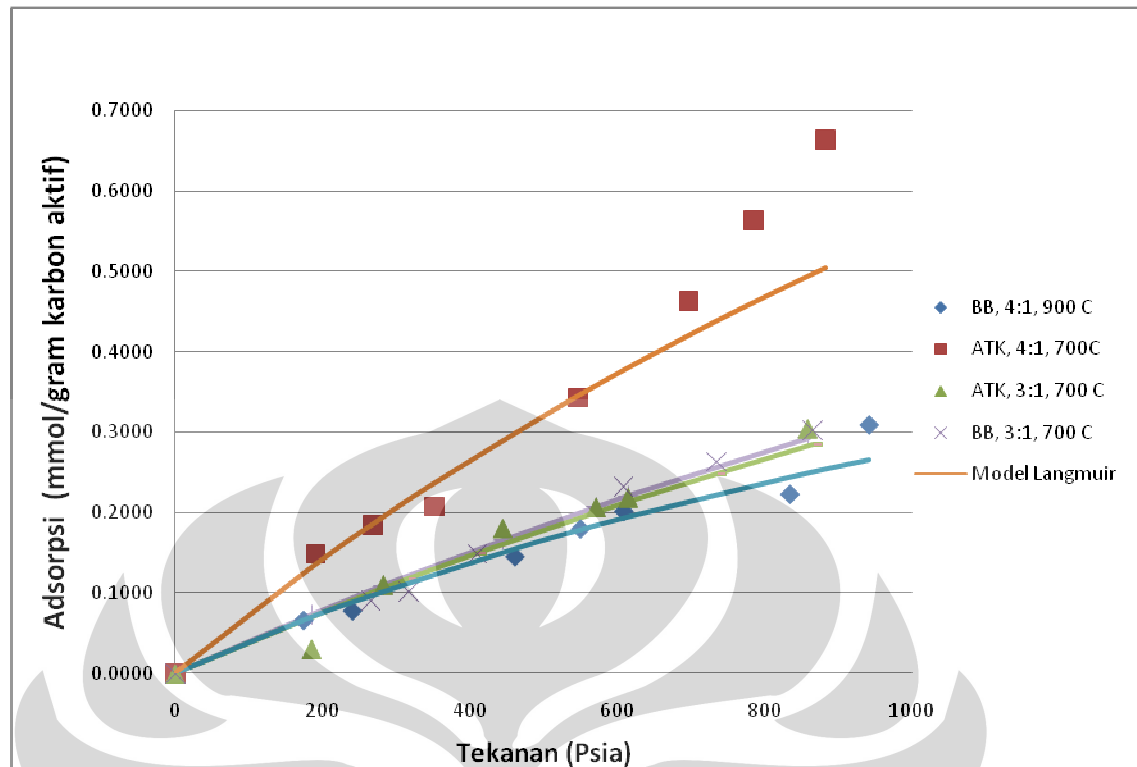
Representasi data adsorpsi metana dengan model Langmuir dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9.** Model Langmuir Data Adsorpsi Metana pada Karbon Aktif .

Secara garis besar, model persamaan adsorpsi metana pada karbon aktif menghasilkan data  $n_{max}$  dan  $b$  yang cenderung lebih tinggi, serta % AAD yang lebih rendah dibandingkan dengan adsorpsi hidrogen. Data-data tersebut menunjukkan bahwa jumlah mol metana yang teradsorpsi lebih tinggi dibandingkan dengan hidrogen dan energi interaksi antara molekul gas dengan inti aktif adsorben yang terjadi lebih besar. Nilai deviasi rata-rata absolut (%AAD) yang kecil (1.34% - 6.29%) menunjukkan bahwa pengambilan data pada penelitian sudah cukup baik dan telah dilakukan pada saat yang mendekati kesetimbangan adsorpsi.

Representasi data adsorpsi hidrogen pada karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben dalam penelitian dapat dilihat pada grafik Gambar 4.10.



**Gambar 4.10.** Model Langmuir Data Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif .

Nilai  $n_{\max}$  dan  $b$  yang dihasilkan dari data adsorpsi hidrogen lebih rendah dibandingkan metana. Hal tersebut menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi hidrogen pada karbon aktif yang lebih rendah dan energi interaksi antara molekul hidrogen dengan inti aktif karbon aktif yang terjadi lebih kecil. % AAD yang diperoleh juga lebih besar dibandingkan pada metana (2.65 – 10.70 %). Pada data adsorpsi hidrogen pada karbon aktif ATK, 3:1, 700 terdapat satu titik *outlayer* yang tidak diikutsertakan dalam perhitungan % AAD, yaitu data pertama yang diperoleh pada tekanan sekitar 200 psia. Data tersebut agak menyimpang dari model dan kecenderungan yang ditunjukkan pada data-data berikutnya. Jika data tersebut diikutsertakan, % AAD yang diperoleh jauh lebih tinggi yaitu mencapai 25%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyimpangan data yang diperoleh pada penelitian terhadap model cukup besar.

Deviasi yang cukup besar ini kemungkinan besar terjadi karena pada pengambilan data adsorpsi hidrogen, kondisi isothermal yang diinginkan sulit untuk dicapai. Temperatur sistem cenderung sulit untuk stabil karena terjadi



kenaikan suhu di ruang laboratorium RPKA DTKUI. Faktor temperatur juga mempengaruhi nilai kapasitas adsorpsi karena adsorpsi merupakan proses yang terjadi secara eksotermis, yaitu melepaskan panas. Jika terjadi kenaikan temperatur maka jumlah mol yang teradsorpsi akan menurun. Begitu pula sebaliknya, jika temperatur menurun maka semakin banyak jumlah mol gas yang teradsorpsi.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian, pengolahan data, dan analisa yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Daya adsorpsi karbon aktif (untuk semua variasi yang digunakan dalam penelitian) terhadap metana lebih tinggi dibandingkan dengan daya adsorpsi karbon aktif terhadap hidrogen. Pada tekanan sekitar 900 psia, karbon aktif ATK, 4:1, 700 mengadsorp sebanyak 2.8 mmol gas metana per gram karbon aktif, ATK, 3:1, 700 sekitar 1.1 mmol/gram, BB, 3:1, 700° C sekitar 2.6 mmol/gram, BB, 4:1, 900 sekitar 1.0 mmol/gram. Untuk adsorpsi gas hidrogen pada tekanan yang sama, ATK, 4:1, 700, mengadsorp sekitar 0.6 mmol/gram karbon aktif, ATK, 3:1, 700, 0.3 mmol/gram, BB, 3:1, 700, 0.3 mmol/gram, BB, 4:1, 900, sekitar 0.25 mmol per gram karbon aktif.
2. Daya adsorpsi karbon aktif dipengaruhi oleh luas permukaan karbon aktif tersebut, namun daya adsorpsi tidak selalu berbanding lurus dengan luas permukaan karena terdapat faktor lain yang juga berpengaruh, yaitu volume *void* dan interaksi antara adsoben dengan adsorbat.
3. Adsorpsi kesetimbangan Langmuir cukup baik dalam merepresentasikan adsorpsi metana pada karbon aktif tetapi terdapat nilai deviasi yang cukup besar pada adsorpsi hidrogen (% AAD terbesar mencapai 10.70 %).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Lelyana O. 2007. *Dehidrasi Isopropil Alkohol*.  
(<http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-lelyanaokt-31592>, online, diakses tanggal 28 Maret 2009).
- Anonim. 2003. *Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa*.  
[http://www.warintek.net/arang\\_aktif.htm](http://www.warintek.net/arang_aktif.htm), diakses: 21 Februari 2009.
- Fatta, Arya. 2008. *Meningkatkan Nilai Arang Tempurung Jadi Karbon Aktif*.  
<http://aryafatta.wordpress.com/2008/06/04/meningkatkan-nilai-arang-tempurung-jadi-karbon-aktif/>, diakses: 21 Februari 2009.
- Banath, F.; Al-Asheh S.; Makhadmeh L. *Preparation and Examination of Activated Carbon from Date Pits Impregnated with KOH for The Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions. Adsorption Science and Technology*, Volume 21, Number 6, 1 July 2003, pp. 597-606(10).
- Cathaputra, Haryo P. D. 2007. *Produksi Isopropil Alkohol Murni untuk Aditif Bensin yang Ramah Lingkungan Sebagai Wujud Pemanfaatan Produk Samping Pada Industri Gas Alam*.  
(<http://www.triharyo.com/cetak.php?id=90>, online, diakses tanggal 28 Maret 2009).
- Ding, L.P., dan Bhatia, S.K. 2003. *Analysis of Multicomponent Adsorption Kinetics on Activated Carbon*, *AIChE Journal*, Vol. 49, No. 4m, pp. 883-895.
- Garcia-Garcia, A., et. al, *Production and Characterization of Activated Carbon from Pine Wastes Gasified in A Pilot Reactor*, National Institute of Engineering and Industrial Technology, Estrada do Paco do Lumiar, 22, Edif. J, 1649-038, Lisbon, Portugal.
- McConnahie, G.L; Warhust, Pollard, A.M. 1996. *Activated Carbon from Moringa Husks and Pods*. India.
- Mulyati, Sri. 2006. *Potensi Batubara Lokal dengan Perlakuan sebagai Adsorben untuk Penanganan Limbah Cair Benzena dan Toluena*. Skripsi, Depok, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia FTUI.

Stanton R., Flores. *Coal Bed Sequestration of Carbon Dioxide*. US Geological Survey.

Subiarto: Penyerapan Sf-gO dan Co-60 dari Limbah Radioaktif Cair dengan Arang Aktif Lokal, Uspen P2PLR -BATAN, Serpong ,1999/2000.

Sudibandriyo, Mahmud. 2003. *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben*. Ph.D dissertation, Oklahoma State University.



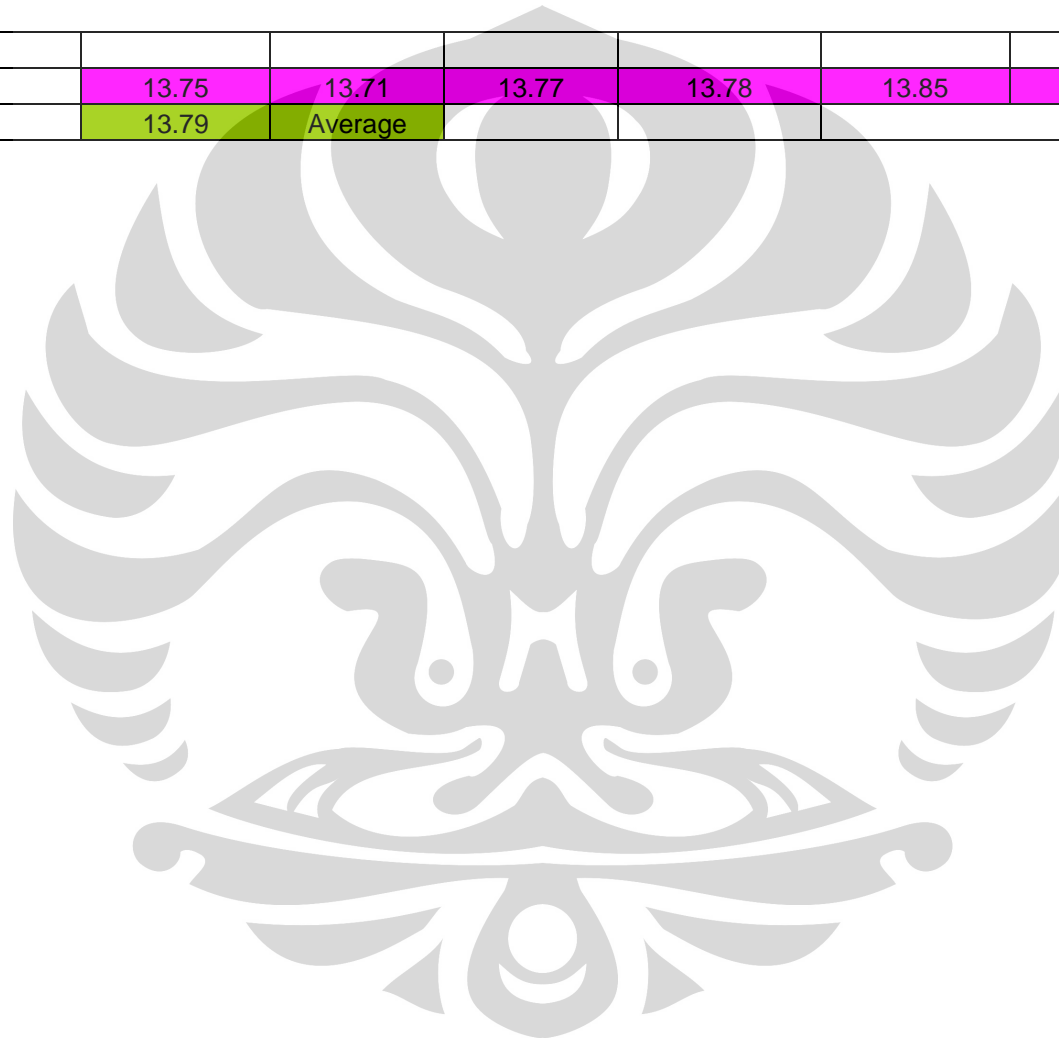
## LAMPIRAN

### Resume Data Penelitian Adsorpsi Methane & Hidrogen Pada Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa dan Batubara

#### Sampel 1, Batubara 4/1, 900°C He Void

Ini Press	0.0	233.47	351.81	578.85	723.75	841.61
Fin Press	233.47	351.81	578.85	723.75	841.61	915.45
Cal Ini Pre	0.0	233.5	351.8	578.9	723.8	841.6
Cal Fin Pre	233.5	351.8	578.9	723.8	841.6	915.5
P Dozing ini	1006.23	1006.23	1006.23	1000.08	1000.08	1000.16
Cal P Dozing ini	1006.23	1006.23	1006.23	1000.08	1000.08	1000.16
P Dozing fin	859.09	786.59	647.31	911.39	837.61	954.90
Cal P Dozing fin	859.09	786.59	647.31	911.39	837.61	954.9
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77	77	77.27	77.18	77.18	77.252
T sampling ini	77	77	77.27	77.18	77.18	77.252
T sampling fin	77	77	77.27	77.18	77.18	77.252
Z dozing ini	1.033104972	1.03310497	1.03308603	1.032890084	1.032890084	1.032887695
Z dozing fin	1.028264065	1.02587881	1.02128432	1.029973295	1.027546859	1.031399436
Z sampling init	1	1.00768116	1.01156793	1.019036902	1.023802294	1.027674185
Z sampling final	1.007681164	1.01157455	1.01903327	1.023802294	1.027678409	1.030102224

Vvoid						
	13.75	13.71	13.77	13.78	13.85	13.87
	13.79	Average				

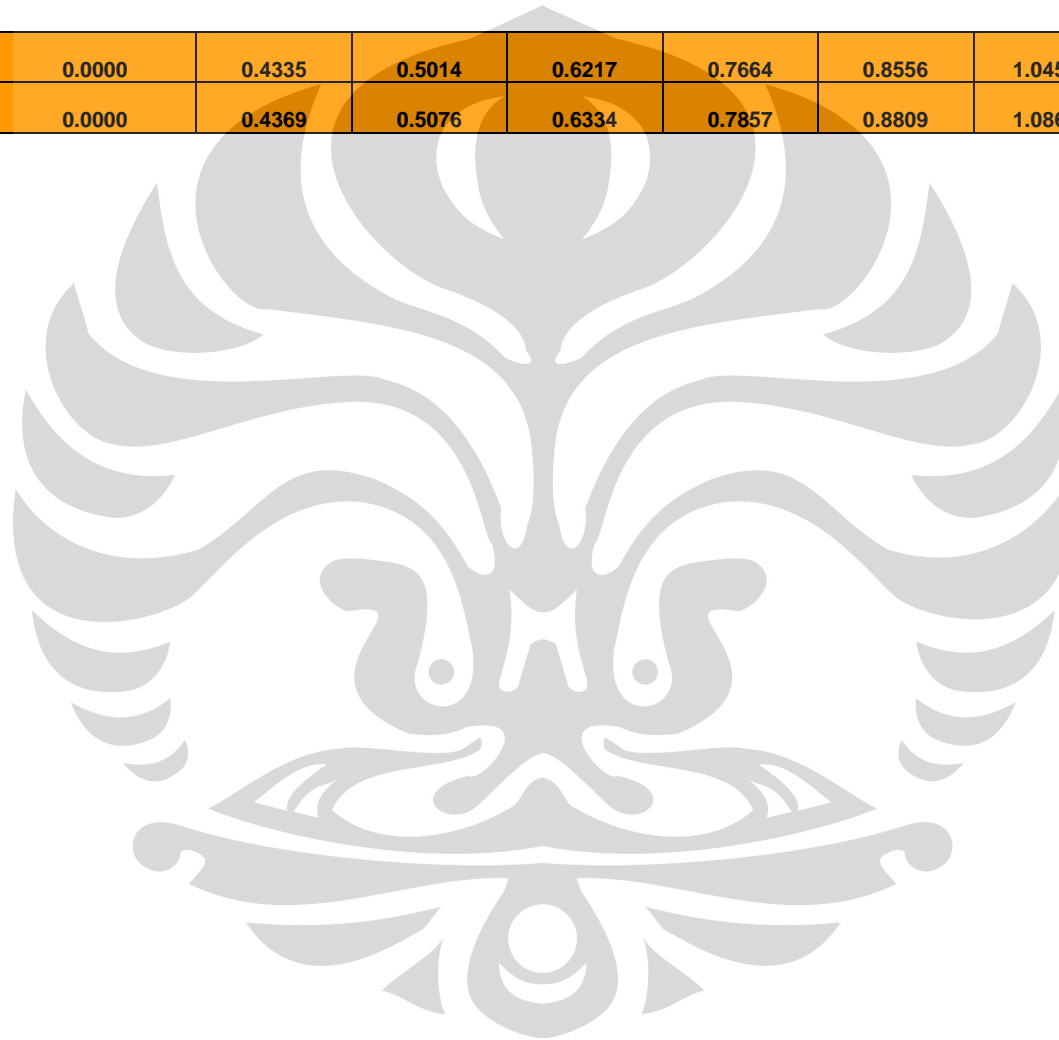


### Adsorpsi Sampel 1 terhadap Methane

Vvoid	13.79	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	77
Mass Karbon aktif	2	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

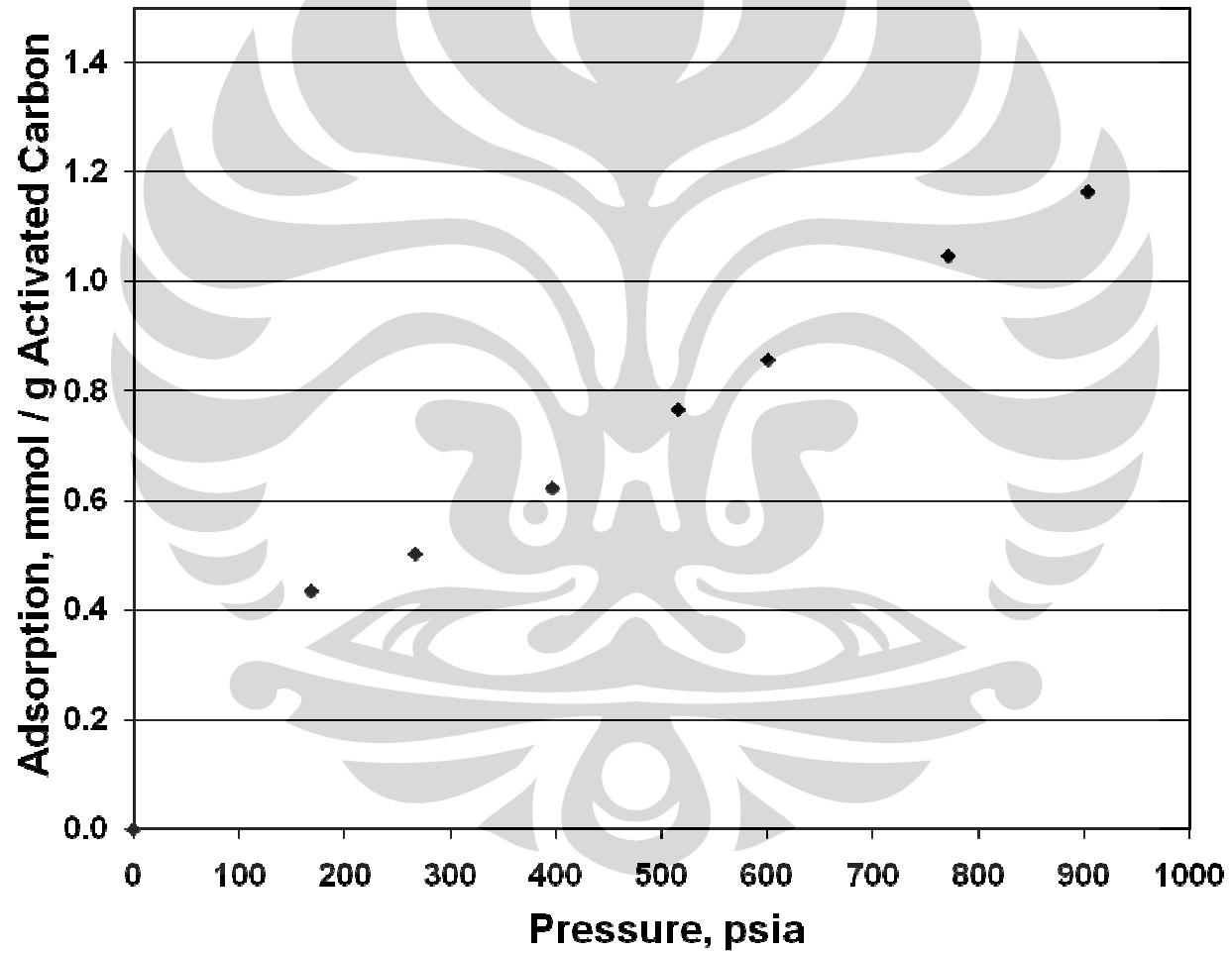
Sampling Press*	0	168.41	266	396.59	515.6	600.68	771	903.82
Calibrated	-1.5	167.3	265.0	395.8	515.0	600.2	770.7	903.6
Initial P dozing	945	945	849.99	797.3	723.18	651.65	983.69	1024.07
Final P dozing	945	849.99	797.3	723.18	651.65	599.01	881.7	943.6
Cal Final P dozing	945.8730583	850.8396882	798.1282061	723.9676949	652.3871911	599.7028674	882.559686	944.4728574
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	7.64E-03	1.22E-02	1.85E-02	2.44E-02	2.87E-02	3.76E-02	4.48E-02
Z dozing awal	0.89356	0.89356	0.90325	0.90880	0.91678	0.92465	8.90E-01	8.86E-01
Z dozing final	0.89356	0.90325	0.90880	0.91678	0.92465	0.93055	0.89997	0.89370
Z <sub>cell</sub>	0.00000	0.98044	0.96902	0.95377	0.94002	0.93036	0.91161	0.89771
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00746	0.01153	0.01719	0.02257	0.02647	0.03453	0.04094
n <sub>unads</sub>	501470021.54450	0.00659	0.01053	0.01595	0.02104	0.02476	0.03244	0.03862
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00087	0.00100	0.00124	0.00153	0.00171	0.00209	0.00233

$n_{\text{adsgibbs}}$ (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.4335	0.5014	0.6217	0.7664	0.8556	1.0452	1.1632
$n_{\text{absolute}}$ (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.4369	0.5076	0.6334	0.7857	0.8809	1.0862	1.2178





CH<sub>4</sub> Gibbs Adsorption on Activated Carbon

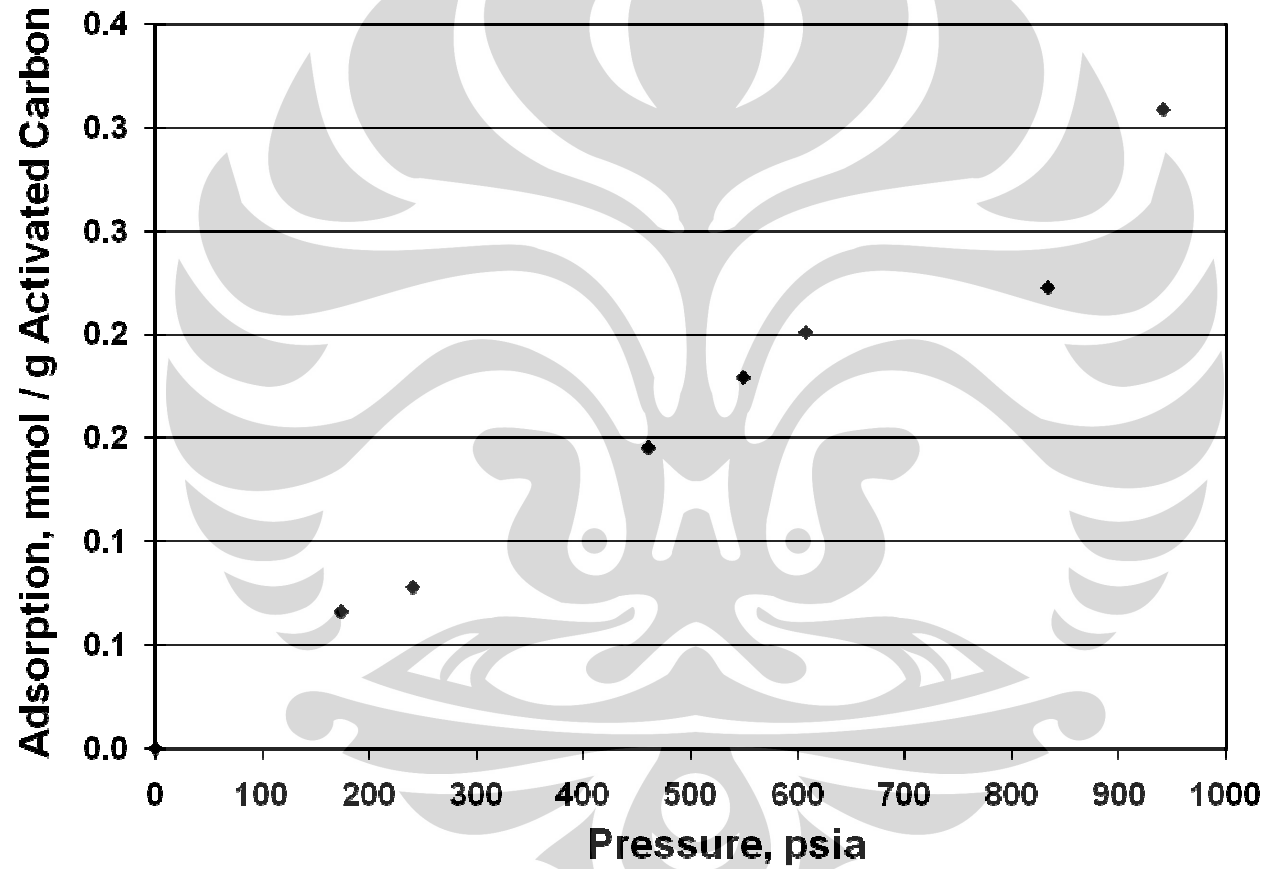


### Adsorpsi Sampel 1 terhadap Hidrogen

Vvoid	13.79	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass Karbon aktif	2	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

Sampling Press*	0	174.08	240.44	460.84	549.56	608.31	833.59	941.1
Calibrated	-1.5	172.9	239.4	460.2	549.0	607.8	833.3	940.9
Initial P dozing	991.61	991.61	877.46	835.09	696.12	641.07	996.94	1006.12
Final P dozing	991.61	877.46	835.09	696.12	641.07	605	858.85	938.3
Cal Final P dozing	992.4872952	878.3184767	835.9342299	696.8899068	641.7987698	605.698217	859.7027033	939.1720581
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	9.61E-04	1.32E-03	2.52E-03	2.99E-03	3.30E-03	4.48E-03	5.04E-03
Z dozing awal	1.04157	1.04157	1.03676	1.03498	1.02914	1.02682	1.04179	1.04218
Z dozing final	1.04157	1.03676	1.03498	1.02914	1.02682	1.02531	1.03598	1.03932
Z <sub>cell</sub>	1.00E+00	1.00727	1.01004	1.01927	1.02299	1.02545	1.03491	1.03944
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00676	0.00929	0.01763	0.02096	0.02316	0.03134	0.03534
n <sub>unads</sub>	-0.00006	0.00663	0.00913	0.01734	0.02060	0.02275	0.03089	0.03473
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00013	0.00016	0.00029	0.00036	0.00040	0.00045	0.00062
n <sub>adsgibbs</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.0661	0.0781	0.1453	0.1797	0.2015	0.2227	0.3086
n <sub>absolute</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.0662	0.0782	0.1456	0.1802	0.2022	0.2237	0.3102

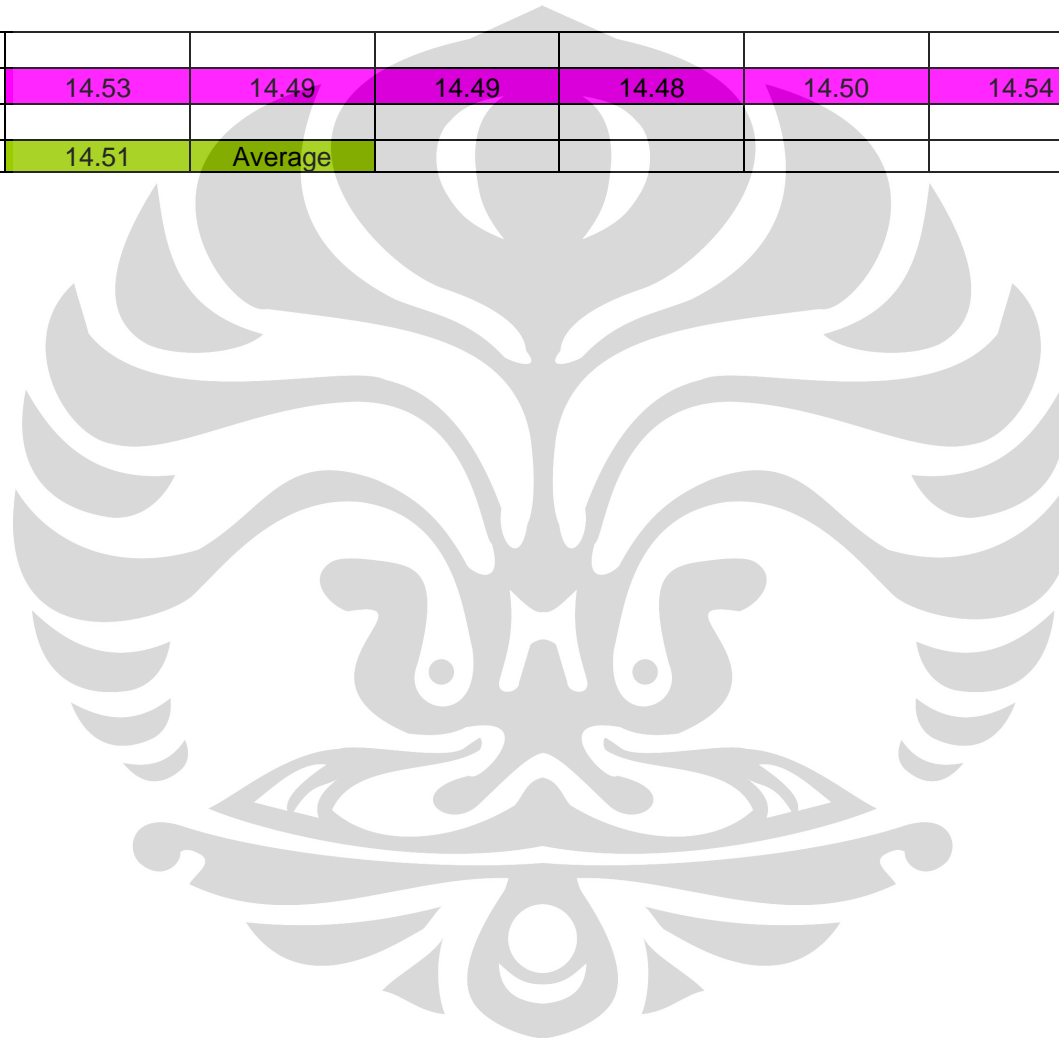
H<sub>2</sub> Gibbs Adsorption on Activated Carbon



**Sampel 2**  
**Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa 4/1, 700° C**

Ini Press	0.0	126.2	391.48	443.33	532.59	651.57	756.32
Fin Press	126.2	391.48	443.33	532.59	651.57	756.32	849.83
Cal Ini Pre	0.0	126.2	391.5	443.3	532.6	651.6	756.3
Cal Fin Pre	126.2	391.5	443.3	532.6	651.6	756.3	849.8
P Dozing ini	941	941	941	941	934.42	934.42	932.31
Cal P Dozing ini	941	941	941	941	934.42	934.42	932.31
P Dozing fin	856.83	684.38	651.19	594.66	857.37	789.47	872.58
Cal P Dozing fin	856.83	684.38	651.19	594.66	857.37	789.47	872.58
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77	77	77	77	77	77	77
T sampling ini	77	77	77	77	77	77	77
T sampling fin	77	77	77	77	77	77	77
Z dozing ini	1.030958905	1.030958905	1.030958905	1.030958905	1.030742423	1.030742423	1.030673
Z dozing fin	1.028189711	1.022516105	1.021424154	1.019564317	1.028207477	1.025973567	1.0287079
Z sampling init	1	1.004151981	1.012879694	1.014585559	1.017522214	1.021436656	1.0248829
Z sampling final	1.004151981	1.012879694	1.014585559	1.017522214	1.021436656	1.024882932	1.0279594

Vvoid							
	14.53	14.49	14.49	14.48	14.50	14.54	14.55
	14.51	Average					

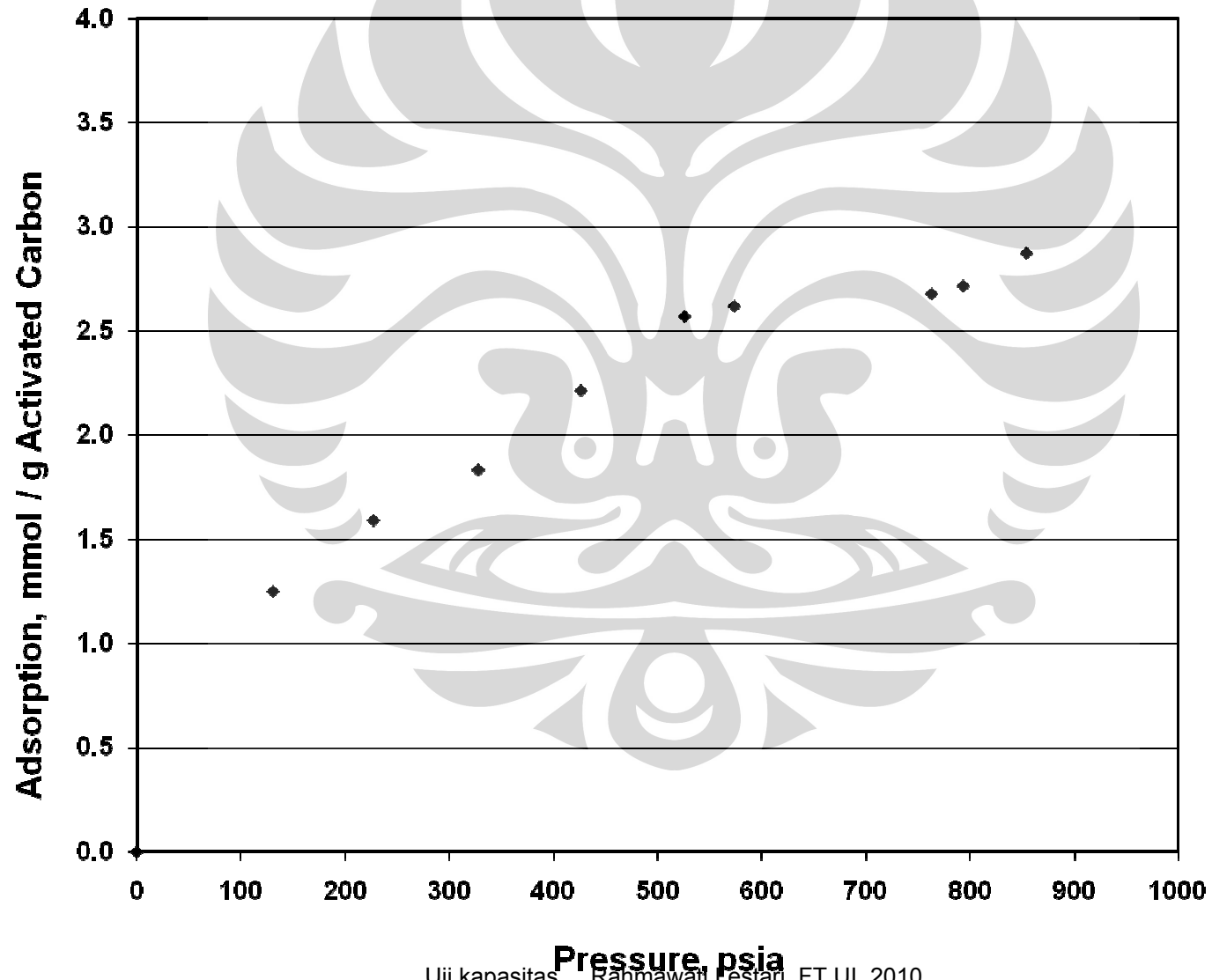


## Adsorpsi Sampel 2 Terhadap Methane

Vvoid	14.51	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	77
Mass Karbon aktif	1.04	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

Sampling Press*	0	130.37	226.7	328.04	426.31	525.55	573.9	762.9	794.03	854.35
Calibrated	-1.5	129.1	225.7	327.2	425.6	525.0	573.4	762.6	793.7	854.1
Initial P dozing	939.73	939.73	855.08	798.15	737.73	675.04	609.79	939.91	825	915.52
Final P dozing	939.73	855.08	798.15	737.73	675.04	609.79	578.87	825	805.05	875.91
Cal Final P dozing	940.6022798	855.9314414	798.9786009	738.5265964	675.7949386	610.4924384	579.5443041	825.8402576	805.8817472	876.7680248
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	5.89E-03	1.04E-02	1.52E-02	2.00E-02	2.49E-02	2.74E-02	3.72E-02	3.89E-02	4.21E-02
Z dozing awal	0.89408	0.89408	0.90272	0.90871	0.91519	0.92206	0.92933	0.89406	0.90587	0.89652
Z dozing final	0.89408	0.90272	0.90871	0.91519	0.92206	0.92933	0.93282	0.90587	0.90797	0.90057
Z <sub>cell</sub>	1.00E+00	0.98488	0.97362	0.96176	0.95031	0.93888	0.93338	0.91242	0.90915	0.90280
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00664	0.01105	0.01567	0.02040	0.02526	0.02754	0.03653	0.03807	0.04118
n <sub>unads</sub>	-0.00006	0.00534	0.00940	0.01376	0.01810	0.02259	0.02481	0.03374	0.03525	0.03819
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00130	0.00165	0.00191	0.00230	0.00267	0.00273	0.00279	0.00282	0.00299
n <sub>adsgibbs</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	1.2501	1.5885	1.8321	2.2111	2.5687	2.6202	2.6791	2.7151	2.8718
n <sub>absolute</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	1.2575	1.6052	1.8604	2.2563	2.6345	2.6941	2.7829	2.8251	2.9983

### CH<sub>4</sub> Gibbs Adsorption on Activated Carbon



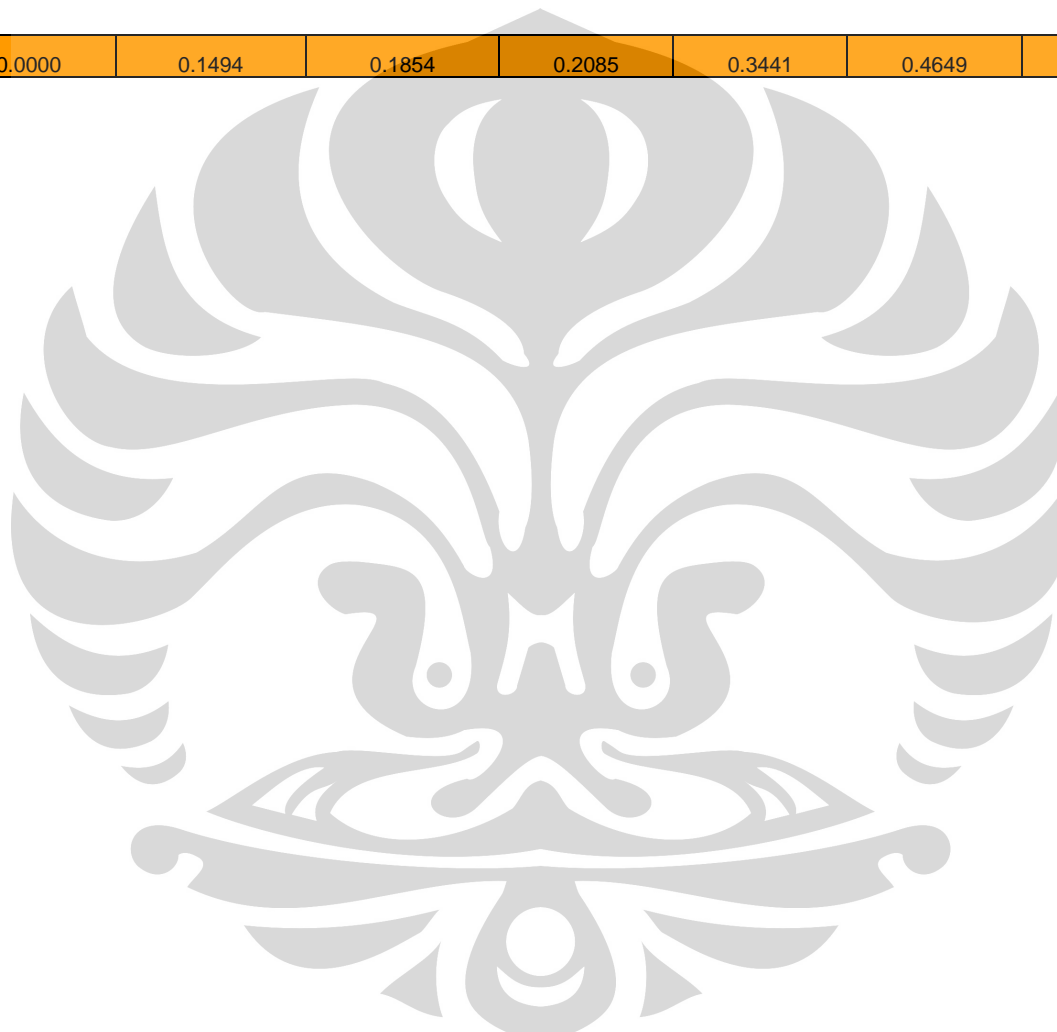
## Adsorpsi Sampel 2 terhadap Hidrogen

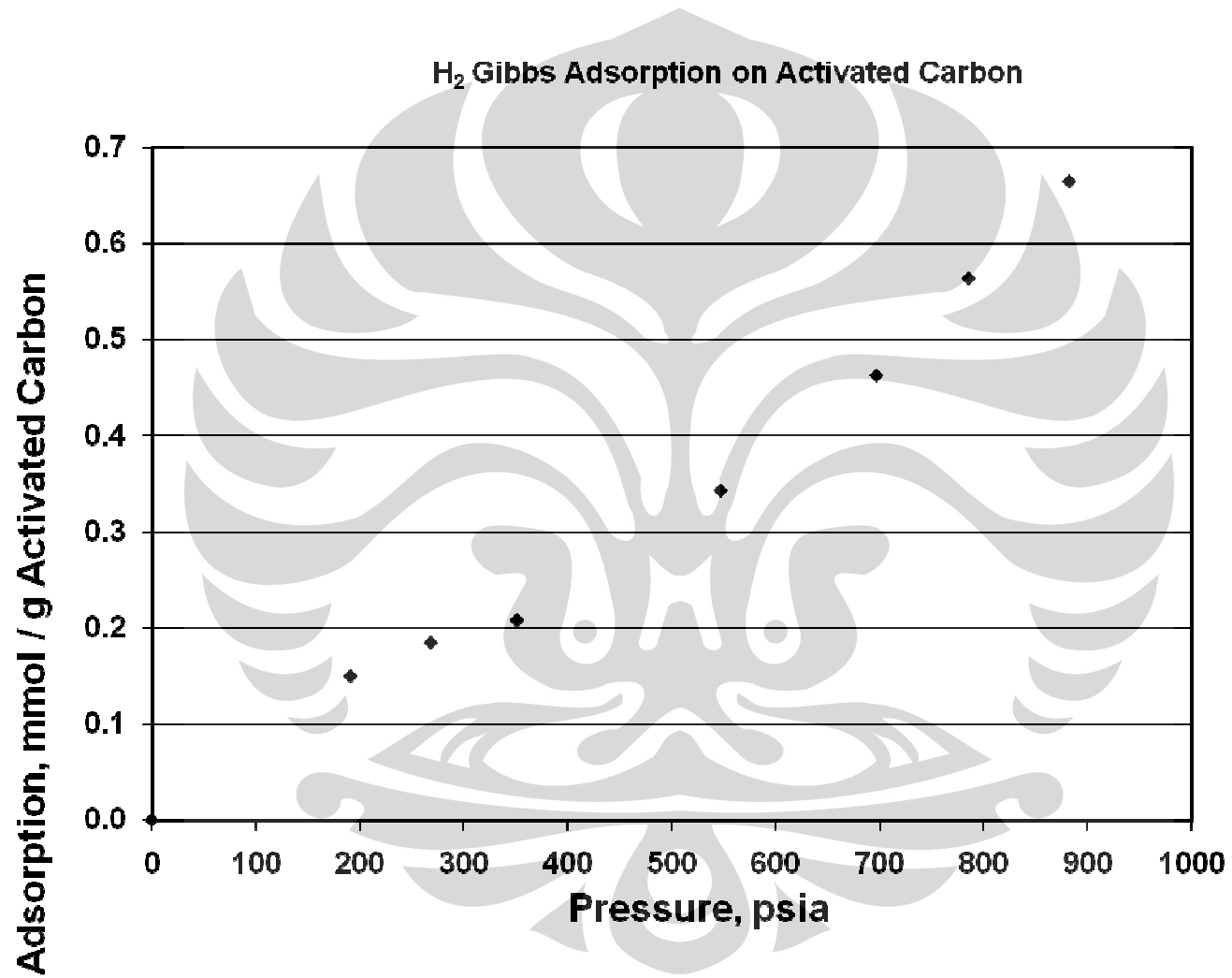
Vvoid	14.51	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass Karbon aktif	1.04	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

Sampling Press*	0	190.55	267.67	351.25	546.43	696.47	784.97	882.29
Calibrated	-1.5	189.4	266.7	350.4	545.9	696.1	784.6	882.0
Initial P dozing	957.66	957.66	826.68	775.06	720	955.55	856.56	962.87
Final P dozing	957.66	826.68	775.06	720	592.43	856.56	798.58	899.22
Cal Final P dozing	958.5346797	827.5209345	775.877314	720.7856876	593.1169002	857.4119405	799.4088001	900.0842654
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	1.05E-03	1.47E-03	1.93E-03	2.97E-03	3.76E-03	4.23E-03	4.73E-03
Z dozing awal	1.04014	1.04014	1.03462	1.03245	1.03014	1.04005	1.03588	1.04036
Z dozing final	1.04014	1.03462	1.03245	1.03014	1.02478	1.03588	1.03344	1.03768
Z <sub>cell</sub>	1.00E+00	1.00796	1.01118	1.01468	1.02285	1.02915	1.03287	1.03696
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00778	0.01088	0.01419	0.02192	0.02779	0.03126	0.03503
n <sub>unads</sub>	-0.00006	0.00763	0.01068	0.01397	0.02156	0.02731	0.03067	0.03434
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00016	0.00019	0.00022	0.00036	0.00048	0.00059	0.00069
n <sub>adsqibbs</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.1492	0.1851	0.2081	0.3431	0.4632	0.5637	0.6641



$n_{\text{absolute}}$ (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.1494	0.1854	0.2085	0.3441	0.4649	0.5661	0.6673
--	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

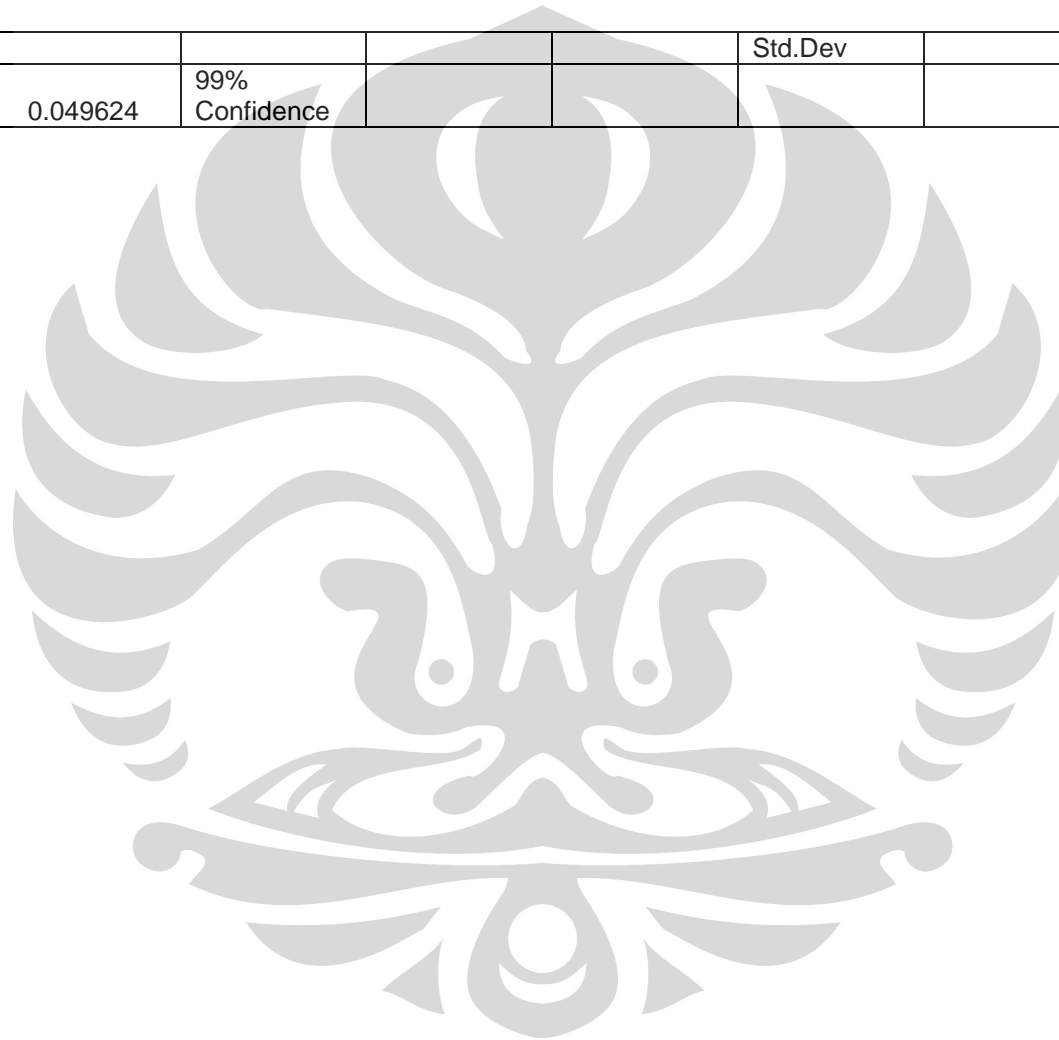




**SAMPEL 3**  
**KARBON AKTIF DARI TEMPURUNG KELAPA 3/1, 700<sup>o</sup> C**  
**He Void Sampel 3 Karbon Aktif**

Ini Press	0.0	116.27	207.31	354.33	467.27	548.62	679.4
Fin Press	116.27	207.31	354.33	467.27	548.62	679.4	757.33
Cal Ini Pre	0.0	116.3	207.3	354.3	467.3	548.6	679.4
Cal Fin Pre	116.3	207.3	354.3	467.3	548.6	679.4	757.3
P Dozing ini	898.06	898.06	898.06	898.06	898.06	888.18	888.18
Cal P Dozing ini	898.06	898.06	898.06	898.06	898.06	888.18	888.18
P Dozing fin	822.5	764.78	671.41	600.61	549.27	805.24	756.04
Cal P Dozing fin	822.5	764.78	671.41	600.61	549.27	805.24	756.04
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	76.19	76.19	76.982	76.838	76.658	76.19	76.19
T sampling ini	76.19	76.19	76.982	76.838	76.658	76.19	76.19
T sampling fin	76.19	76.19	76.982	76.838	76.658	76.19	76.19
Z dozing ini	1.029596981	1.029596981	1.029547306	1.029556329	1.029567614	1.02927137	1.02927137
Z dozing fin	1.027106782	1.025204529	1.022090235	1.019766861	1.018084096	1.026537952	1.024916488
Z sampling init	1	1.003831861	1.00682076	1.011661464	1.015384338	1.018080636	1.022390697
Z sampling final	1.003831861	1.006832227	1.011657904	1.015378467	1.018062695	1.022390697	1.024959002
Vvoid							
	14.19	14.10	14.14	14.16	14.20	14.22	14.25
	14.18	Average		#DIV/0!	Weighted Average		
	0.038530606	Std. Dev		#DIV/0!	expected		

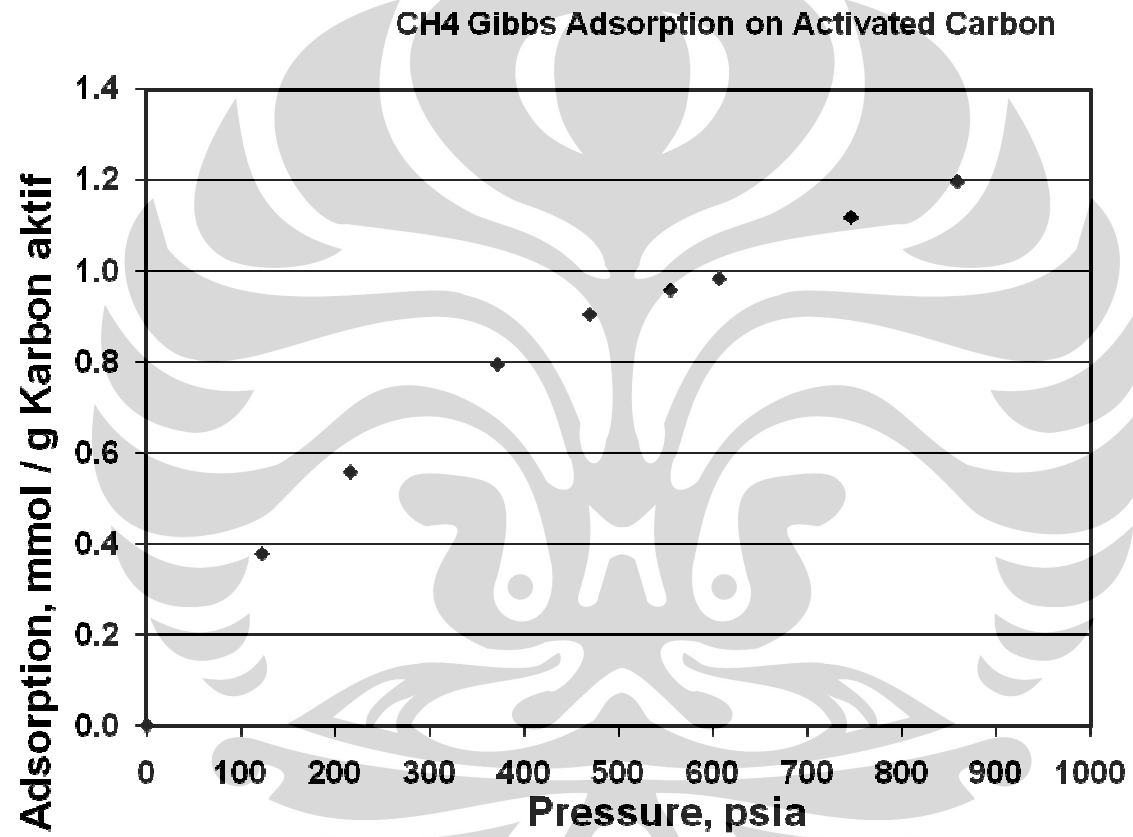
					Std.Dev		
	0.049624	99% Confidence					



### Adsorpsi Karbon Aktif 3 terhadap Methane

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.18	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	77
Mass Karbon aktif	1.13	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

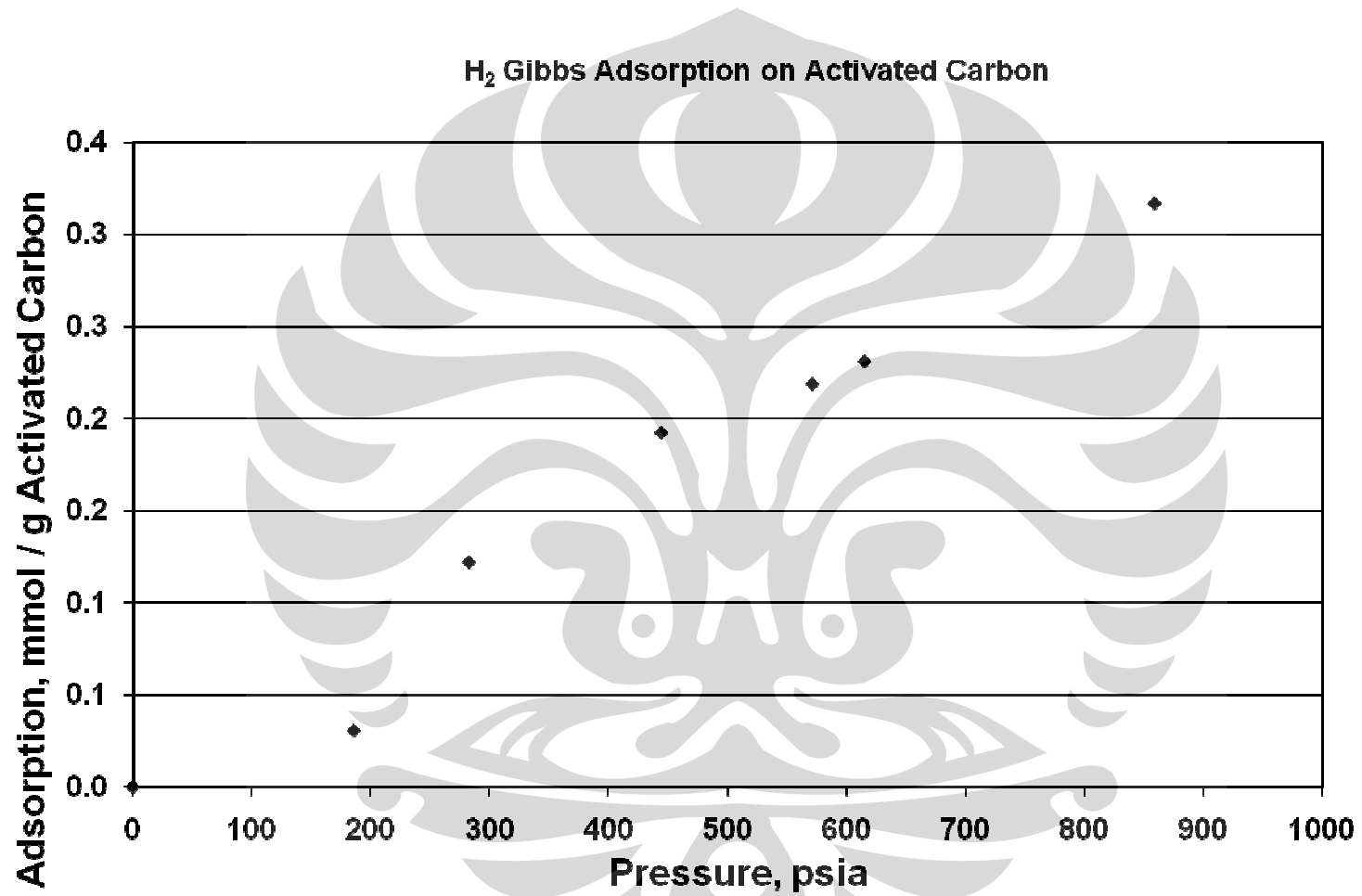
Sampling Press*	0	122.28	216.63	372.09	469.64	554.64	607.09	746.95	859.44
Calibrated	-1.5	121.0	215.6	371.3	469.0	554.1	606.6	746.6	859.2
Initial P dozing	961.47	961.47	894.06	841.81	752.88	695.13	643.77	1019.38	936.2
Final P dozing	961.47	894.06	841.81	752.88	695.13	643.77	611.37	936.2	867.06
Cal Final P dozing	962.345099	894.9229865	842.6567518	753.6853724	695.8992256	644.5009422	612.0738198	937.0717244	867.9153438
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	5.52E-03	9.89E-03	1.73E-02	2.21E-02	2.64E-02	2.91E-02	3.64E-02	4.24E-02
Z dozing awal	0.89192	0.89192	0.89870	0.90411	0.91356	0.91985	0.92553	0.88626	0.89444
Z dozing final	0.89192	0.89870	0.90411	0.91356	0.91985	0.92553	0.92916	0.89444	0.90148
Z <sub>cell</sub>	1.00E+00	0.98582	0.97480	0.95662	0.94530	0.93557	0.92964	0.91420	0.90227
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00532	0.00940	0.01624	0.02062	0.02446	0.02687	0.03349	0.03892
n <sub>unads</sub>	-0.00006	0.00489	0.00876	0.01534	0.01959	0.02338	0.02576	0.03222	0.03757
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00043	0.00063	0.00090	0.00102	0.00108	0.00111	0.00127	0.00135
n <sub>adsgibbs</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.3781	0.5591	0.7958	0.9048	0.9576	0.9842	1.1197	1.1963
n <sub>absolute</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.3802	0.5647	0.8098	0.9253	0.9836	1.0137	1.1620	1.2494



### Adsorpsi Karbon Aktif 3 terhadap Hidrogen

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.18	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	77
Mass Karbon aktif	1.13	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm <sup>3</sup> )/(mol °R)

Sampling Press*	0	185.2	282.79	444.76	571.43	615.06	858.89
Calibrated	-1.5	184.1	281.9	444.1	570.9	614.6	858.6
Initial P dozing	1016.15	1016.15	892.99	827.9	723.28	643.56	1019.48
Final P dozing	1016.15	892.99	827.9	723.28	643.56	616.36	864.97
Cal Final P dozing	1017.027614	893.852714	828.7414221	724.0677576	644.2907738	617.0681468	865.8246856
Sampling Temp*	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
Calibrated	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0	77.0
density <sub>cell</sub> , (g/cm <sup>3</sup> )	0.00E+00	1.02E-03	1.55E-03	2.43E-03	3.10E-03	3.34E-03	4.61E-03
Z dozing awal	1.04260	1.04260	1.03741	1.03468	1.03028	1.02693	1.04274
Z dozing final	1.04260	1.03741	1.03468	1.03028	1.02693	1.02579	1.03624
Z <sub>cell</sub>	1.00E+00	1.00773	1.01181	1.01859	1.02390	1.02573	1.03598
n <sub>inj</sub>	0.00000	0.00728	0.01116	0.01744	0.02226	0.02391	0.03305
n <sub>unads</sub>	-0.00006	0.00725	0.01102	0.01722	0.02201	0.02365	0.03270
n <sub>solub</sub>	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n <sub>ads</sub>	0.00000	0.00003	0.00014	0.00022	0.00025	0.00026	0.00036
n <sub>adsqibbs</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.0305	0.1224	0.1927	0.2190	0.2308	0.3166
n <sub>absolute</sub> (mmol/g <sub>drycoal</sub> )	0.0000	0.0306	0.1226	0.1931	0.2197	0.2316	0.3181





**Sampel 4, Batubara 3/1, 700°C  
He Void**

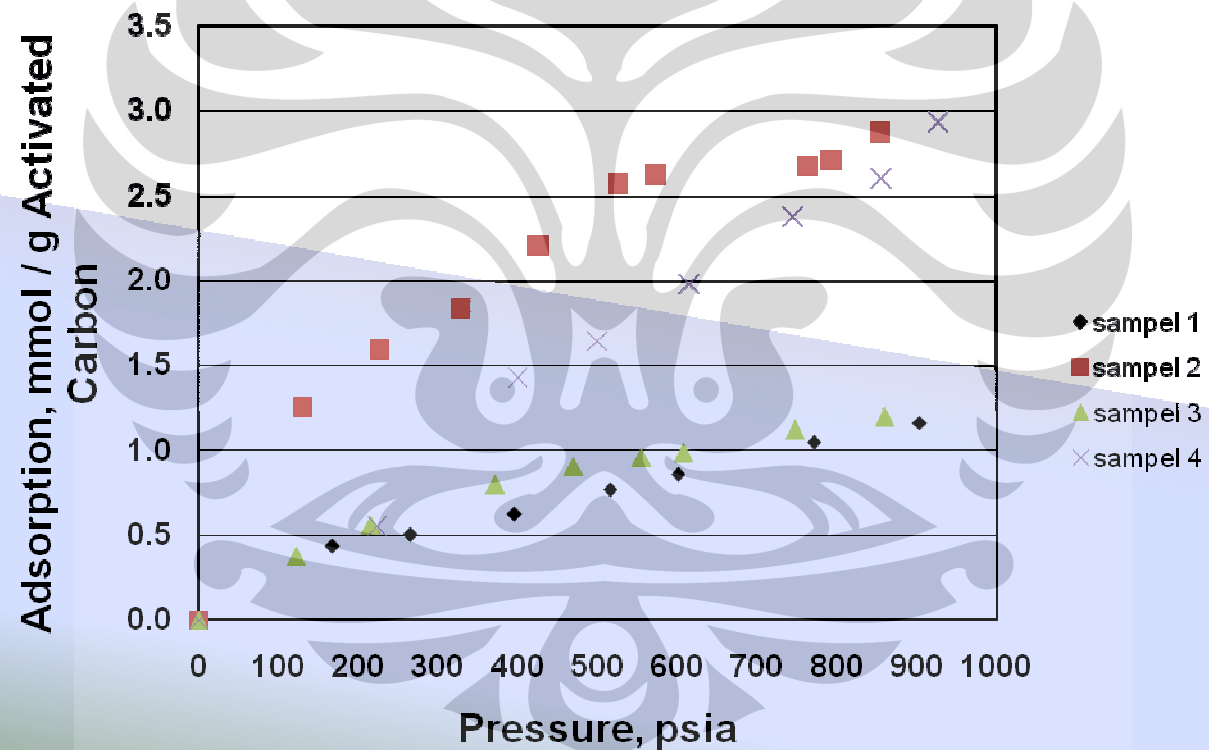
Ini Press	0.0	186.52	224.11	347.41	458.93	519.54
Fin Press	186.52	224.11	347.41	458.93	519.54	641.64
Cal Ini Pre	0.0	186.5	224.1	347.4	458.9	519.5
Cal Fin Pre	186.5	224.1	347.4	458.9	519.5	641.6
P Dozing ini	769.33	769.33	769.33	769.33	758.07	758.07
Cal P Dozing ini	769.33	769.33	769.33	769.33	758.07	758.07
P Dozing fin	648.09	624.7	545.38	475.45	718.96	642.37
Cal P Dozing fin	648.09	624.7	545.38	475.45	718.96	642.37
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.54	77.54	77.792	77.468	78.134	78.386
T sampling ini	77.54	77.54	77.792	77.468	78.134	78.386
T sampling fin	77.54	77.792	77.468	77.774	78.134	78.386
Z dozing ini	1.025282005	1.025282005	1.025268508	1.025285863	1.024880643	1.024867367
Z dozing fin	1.021297772	1.020529121	1.01791291	1.015626797	1.023597012	1.021071999
Z sampling init	1	1.006129489	1.007360854	1.011418457	1.015062558	1.017042743
Z sampling final	1.006129489	1.007360854	1.011418457	1.01507405	1.017051841	1.021048053
Vvoid						
	14.37	14.30	14.36	14.37	14.40	14.39

14.36

Average

Perbandingan Daya Adsorp KArbon Aktif 1,2, 3, dan 4

Adsorpsi Methane pada Karbon Aktif  
CH<sub>4</sub> Gibbs Adsorption on Activated Carbon



## Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif

### H<sub>2</sub> Gibbs Adsorption on Activated Carbon

