



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KAPASITAS ADSORPSI SERTA DINAMIKA  
ADSORPSI DAN DESORPSI DARI NANOTUBE KARBON  
SEBAGAI PENYIMPAN HIDROGEN**

**TESIS**

**PROLESSARA PRASODJO  
0806423192**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KAPASITAS ADSORPSI SERTA DINAMIKA  
ADSORPSI DAN DESORPSI DARI NANOTUBE KARBON  
SEBAGAI PENYIMPAN HIDROGEN**

**TESIS**

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

**PROLESSARA PRASODJO  
0806423192**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
KEKHUSUSAN PERANCANGAN PRODUK DAN REAKSI KIMIA  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Prolessara Prasodjo**

**NPM : 0806423192**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 6 Juli 2010**

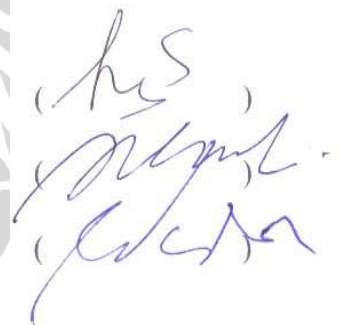
## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Prolessara Prasodjo  
NPM : 0806423192  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Tesis : Studi Kapasitas Adsorpsi serta Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi dari Nanotube Karbon sebagai Penyimpan Hidrogen

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., PhD.  
Penguji I : Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam, MT  
Penguji II : Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2010

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah S.W.T. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Dalam penyusunan tesis ini, saya mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc., PhD., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Kedua orang tua dan adik-adik saya yang tercinta atas segala perhatian dan bantuannya baik moril maupun material.
3. Kang Jajat dan Mang Ijal yang telah menyediakan kebutuhan alat penelitian dan membantu secara teknis selama berada di laboratorium.
4. Mas Taufik atas bantuannya dalam mencari literatur, Mas Sriyono atas segala bantuan administrasinya, Mas Eko, dan juga Pak Masturo yang telah memudahkan saya selama melakukan penelitian.
5. Rekan-rekan seperjuangan selama penelitian, teman-teman pascasarjana Teknik Kimia UI khususnya angkatan 2008 dan Wiwin Wijayanti yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini .
6. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Prolessara Prasodjo  
NPM : 0806423192  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tesis

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:

“Studi Kapasitas Adsorpsi dan Dinamika Adsorpsi dan  
Desorpsi dari Nanotube Karbon sebagai Penyimpan Hidrogen”

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 : 6 Juli 2010  
Yang menyatakan



(Prolessara Prasodjo)

## ABSTRAK

Nama : Prolessara Prasodjo  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Studi Kapasitas Adsorpsi serta Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi dari Nanotube Karbon sebagai Penyimpan Hidrogen

Adsorpsi gas hidrogen dalam material berpori seperti karbon merupakan teknik penyimpanan hidrogen bertekanan yang efektif dan sangat menjanjikan untuk diaplikasikan pada sistem penyimpanan hidrogen sebagai bahan bakar terutama pada kendaraan. Nanotube karbon (NTC) merupakan salah satu material karbon yang sangat berpotensi untuk digunakan dalam penyimpanan hidrogen selain karbon aktif.

Potensi penyerapan gas hidrogen pada nanotube karbon yang dihasilkan dari produksi lokal diuji kemampuannya pada penelitian ini. Pengujiannya meliputi penentuan kapasitas adsorpsi gas hidrogen serta dinamika adsorpsi dan desorpsinya dari nanotube karbon produksi lokal pada temperatur isothermal 25 °C dan tekanan 0-1000 Psia. Sebagai pembandingan hasil percobaan, dilakukan juga uji yang sama terhadap nanotube karbon komersial yang diproduksi dari *Chinese Academy of Sciences*.

Dari hasil pengujian adsorpsi gas hidrogen dengan kedua NTC menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi hidrogen terus meningkat secara seiring dengan meningkatnya tekanan pada temperatur isothermal 25°C. NTC lokal mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih rendah dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi NTC komersial. Pada tekanan sekitar 960 psia, kapasitas adsorpsi NTC lokal dan NTC komersial berturut-turut 0,09 % dan 0,13 % berat. Mekanisme adsorpsi yang terjadi pada kedua NTC didasarkan pada interaksi fisik. Secara umum, data adsorpsi hidrogen dari kedua adsorben dapat direpresentasikan dengan baik oleh permodelan Langmuir, dengan % AAD di bawah 5. Dari hasil data dinamika dapat diketahui bahwa proses adsorpsi dan desorpsi pada kedua NTC berlangsung sangat cepat. Pada tekanan tertinggi (960 Psia), kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi tercapai mendekati waktu 30 detik, sedangkan pada NTC lokal tercapai pada waktu 2 detik. Waktu pencapaian kesetimbangan pada proses adsorpsi baik pada NTC lokal maupun komersial pada tekanan tinggi lebih cepat dibandingkan pada tekanan rendah. Waktu pencapaian kesetimbangan pada proses desorpsi sedikit lebih cepat pada tekanan tinggi pada NTC komersial sedangkan pada NTC komersial hampir sama pada tekanan tinggi dan rendah. Secara keseluruhan dinamika adsorpsi dan desorpsi yang terjadi pada NTC lokal dan komersial baik pada tekanan rendah sampai tekanan tinggi dapat direpresentasikan dengan baik oleh model dinamika Gasem dan Robinson dengan % AAD di bawah 2.

Kata kunci : Hidrogen, Nanotube Karbon, Adsorpsi, Desorpsi, Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi.

## ABSTRACT

Name : Prolessara Prasodjo  
Program of study : Chemical Engineering  
Title : Study of Adsorption Capacity and Dynamics of Adsorption and Desorption of Carbon Nanotube as Hydrogen Storage

Adsorption of hydrogen gas in porous material such as carbon is a effective pressurized hydrogen storage technique and very promising for application in hydrogen storage system for fuel, especially in vehicles. Carbon nanotubes (CNT) is one of the most potential of carbon materials for use in hydrogen storage beside activated carbon.

Potential of hydrogen gas adsorption in carbon nanotubes generated from local production was tested in this study. The test includes the determination of hydrogen gas adsorption capacity and dynamics of adsorption and desorption of carbon nanotubes local production at isothermal temperature 25 °C and pressure 0- 1000 Psia. As a comparison the results of the experiment, also conducted similar tests on commercially produced carbon nanotubes of the Chinese Academy of Sciences.

From the test results of hydrogen gas adsorption with both CNT show that the hydrogen adsorption capacity increased with increasing pressure at isothermal temperature of 25°C. Local CNT has a lower adsorption capacity compared with the adsorption capacity of commercial CNT. At pressures around 960 psia, the adsorption capacity of local and commercial CNT is 0.09% and 0.13% weight respectively. Adsorption mechanism that occurs at both the CNT based on physical interactions. In general, the hydrogen adsorption data of both the adsorbent can be represented well by the Langmuir model, with % AAD of less than 5. From the data, it is known that the dynamics of adsorption and desorption processes at both the CNT happened very quickly. At highest pressure (960 Psia), adsorption and desorption equilibrium of local CNT is reached approximately in 30 seconds, while commercial CNT is reached in 2 seconds. The rate of adsorption equilibrium at both local and commercial CNT at high pressure more rapidly than at low pressures. At process of desorption, the time of equilibrium is reached slightly faster at high pressure than low pressure in the commercial CNT, but almost similar in local CNT. Overall dynamics of adsorption and desorption that occurred at both CNT at low pressure to high pressure can be presented well by the model Gasem and Robinson with % AAD below 2.

Keywords: Hydrogen, Carbon Nanotubes, Adsorption, Desorption, Dynamics of Adsorption and Desorption



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	5
1.5. Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1. Hidrogen .....	7
2.1.1 Hidrogen Sebagai Bahan Bakar .....	7
2.1.2 Penyimpanan Hidrogen.....	8
2.2. Adsorpsi .....	10
2.2.1 Jenis – Jenis Adsorpsi .....	10
2.2.2 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	11
2.2.3 Kesetimbangan Adsorpsi .....	13
2.3. MODEL– MODEL ADSORPSI.....	14
2.3.1 Model Adsorpsi Isotermis Absolut .....	14
2.3.2 Model Adsorpsi isotermis Gibbs.....	16

2.3.3 Model Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi Gas Dalam Material Berpori .....	19
2.4. Nanokarbon.....	21
2.4.1 Nanotube Karbon .....	21
2.4.2 Nanotube Karbon sebagai Penyimpan Hidrogen .....	22
2.4.3 <i>Multi-Walled Nanotube Carbon</i> (MWNTC) Produksi Lokal .....	24
2.4.4 <i>Multi-Walled Nanotube Carbon</i> (MWNTC) Produk Komersial ..	25
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	26
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	26
3.2. Prosedur Penelitian .....	27
3.2.1 Persiapan Alat dan Bahan .....	27
3.2.1.1 Alat.....	27
3.2.1.2 Bahan .....	27
3.2.2 Persiapan Alat Uji Adsorpsi Hidrogen.....	27
3.2.3 Persiapan Nanotube Karbon.....	29
3.2.4 Cek Kebocoran Peralatan.....	30
3.2.5 Pengujian Adsorpsi Hidrogen .....	30
3.2.6 Pengujian Desorpsi Hidrogen .....	32
3.2.7 Kurva Adsorpsi dan Desorpsi .....	32
3.2.8 Kurva Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi .....	32
3.2.9 Permodelan Adsorpsi.....	33
3.2.10 Permodelan Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi .....	34
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	35
4.1. Hasil Preparasi Peralatan Adsorpsi .....	35
4.2. Hasil Cek Kebocoran Alat Uji .....	36
4.3. Hasil Preparasi Adsorben.....	37
4.4. Hasil Kalibrasi Void Volume Area Sampling .....	38
4.5. Hasil Uji Adsorpsi dan Desorpsi Gas Hidrogen Pada Nanotube Karbon.	39
4.6. Representasi Data Adsorpsi dengan Model Langmuir .....	43
4.7. Hasil Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi Hidrogen pada NTC .....	44
4.8. Representasi Data Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi dengan Permodelan	46

<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	51
5.1. Kesimpulan .....	51
5.2. Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Adsorpsi Isotermis Langmuir dan BET .....	13
Gambar 2.2 Grafik Adsorpsi Isotermis Gibbs .....	17
Gambar 2.3 Kurva Adsorpsi Isotermis Gibbs Berbagai Tipe .....	18
Gambar 2.4 Profil Tekanan Adsorpsi dan Desorpsi terhadap Waktu .....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	26
Gambar 3.2 <i>Sampling Cylinder</i> .....	28
Gambar 3.3 Skema Alat untuk Uji Adsorpsi Hidrogen .....	29
Gambar 4.1 Rangkaian Peralatan Uji Adsorpsi .....	35
Gambar 4.2 Cek Kebocoran Alat Uji Adsorpsi pada Tekanan Tinggi .....	37
Gambar 4.3 Kurva Adsorpsi dan Desorpsi Gas Hidrogen .....	39
Gambar 4.4 Perbandingan Adsorpsi Hidrogen dengan Permodelan Langmuir	43
Gambar 4.5 Data Percobaan Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi NTC Lokal pada Tekanan 200 dan 900 Psia.....	45
Gambar 4.6 Data Percobaan Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi NTC Komersial pada Tekanan 200 dan 900 Psia.....	45
Gambar 4.7 Representasi Model Dinamika Adsorpsi Hidrogen pada NTC Komersial .....	47
Gambar 4.8 Representasi Model Dinamika Adsorpsi Hidrogen pada NTC Lokal .....	48
Gambar 4.9 Representasi Model Dinamika Desorpsi Hidrogen pada NTC Komersial .....	48
Gambar 4.10 Representasi Model Dinamika Desorpsi Hidrogen pada NTC Lokal .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Teknologi Penyimpanan Gas Hidrogen .....	2
Tabel 2.1 Kerapatan Energi Berbagai Bahan Bakar Relatif Terhadap Bahan Bakar Minyak .....	7
Tabel 2.2 Beberapa Kapasitas Penyimpanan Hidrogen oleh Nanotube Karbon	24
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Berat Adsorben .....	37
Tabel 4.2 Void Volume Nanotube Karbon Komersial .....	38
Tabel 4.3 Void Volume Nanotube Karbon Lokal.....	38
Tabel 4.4 Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Hidrogen dari Adsorben Karbon pada tekanan 960 Psia dan Temperatur 25 °C.....	41
Tabel 4.5 Parameter Model Isotermal Langmuir .....	44
Tabel 4.6 Parameter Model Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi .....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Hasil Pengukuran Luas Permukaan Nanotube Karbon Lokal.
- Lampiran 2. Data Adsorpsi dan Desorpsi Isotermal Gas Hidrogen dari Nanotube Karbon Lokal.
- Lampiran 3. Data Adsorpsi dan Desorpsi Isotermal Gas Hidrogen dari Nanotube Karbon Komersial.
- Lampiran 4. Perbandingan Perhitungan Jumlah Gas Hidrogen yang dapat disimpan pada Storage 16ml, dengan dan tanpa Adsorben.
- Lampiran 5. Data Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi Gas Hidrogen dari Nanotube Karbon Lokal.
- Lampiran 6. Data Dinamika Adsorpsi dan Desorpsi Gas Hidrogen dari Nanotube Karbon Komersial.

