



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENGARUH WAKTU REAKTIVASI TERHADAP
PENYERAPAN GAS HIDROGEN PADA NANO KARBON
AKTIF BERBENTUK PELET DENGAN PENGIKAT LIKUIDA
LIGNOSELULOSA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

LUCKY JAYADI

0706267156

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012**

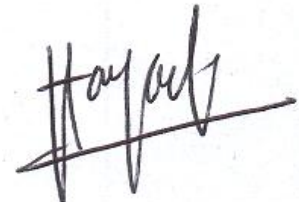
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ANALISA PENGARUH WAKTU REAKTIVASI TERHADAP PENYERAPAN GAS HIDROGEN PADA NANO KARBON AKTIF BERBENTUK PELET DENGAN PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA

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

Depok, 16 Januari 2012



LUCKY JAYADI

NPM : 0706267156

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Lucky Jayadi
NPM : 0706267156
Program Studi : Teknik Mesin S-1 Reguler
Judul Skripsi :

**ANALISA PENGARUH WAKTU REAKTIVASI TERHADAP
PENYERAPAN GAS HIDROGEN PADA NANO KARBON
AKTIF BERBENTUK PELET DENGAN PENGIKAT LIKUIDA
LIGNOSELULOSA**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr.-Ing Ir. Nasruddin, M.Eng.

Pembimbing 2 : Dr. Awaludin Martin ST. MT

Tim Penguji : Ir. Mahmud Sudibandriyo. MSc. PhD

: Dr. Ir M Idrus Alhamid



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Januari 2012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Lucky Jayadi
NPM : 0706267156
Program Studi : Teknik Mesin S-1 Reguler
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

ANALISA PENGARUH WAKTU REAKTIVASI TERHADAP PENYERAPAN GAS HIDROGEN PADA NANO KARBON AKTIF BERBENTUK PELET DENGAN PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA

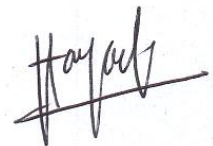
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Januari 2012

Yang menyatakan



(Lucky Jayadi)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum.wr.wb,

Puji syukur kehadiran Allah swt. atas segala nikmat kesehatan, kekuatan serta hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Segala upaya dan kerja keras telah dilakukan dalam serangkaian eksperimen panjang nan berkelanjutan. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pada pihak-pihak yang turut andil atas rampungnya karya ilmiah ini, diantaranya :

1. Orang tua tercinta yang tak letih memberi dukungan moral serta doa yang tiada hentinya dilantunkan.
2. Bapak DR.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng atas segala kesabaran dan keikhlasan dalam bimbingannya.
3. Bapak Dr. Awaludin Martin ST. MT atas bimbingan dan saran nya.
4. Bapak Jauhari Ali yang turut membantu segala proses eksperimen yang dilakukan sekaligus rekan seperjuangan.
5. Saudara Arnas yang telah setia menemani proses perbaikan alat hingga selesai.
6. Saudara Miko yang telah membimbing dan membantu proses pengambilan data.
7. Rekan seperjuangan laboratorium teknik yang tak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberikan motivasi semangat pantang menyerah.
8. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2007
9. Serta seluruh pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung proses penelitian ini. Semoga Allah swt. memberikan ganjaran yang lebih besar kepada kalian semua.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari adanya kekurangan yang terkandung dalam karya tulis ilmiah ini. Semoga hal tersebut menjadi motivasi penulis untuk terus memperbaiki diri dalam pembelajaran lebih lanjut. Semoga hasil penelitian ini dapat berguna bagi banyak pihak di kemudian hari.

Depok, 16 Januari 2012

Penulis

ABSTRAK

Nama : Lucky Jayadi
Program Studi : Teknik Mesin
Judul :

ANALISA PENGARUH WAKTU REAKTIVASI TERHADAP PENYERAPAN GAS HIDROGEN PADA NANO KARBON AKTIF BERBENTUK PELET DENGAN PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA

Salah satu alternatif penyimpanan hidrogen adalah dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif, karena karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang yang besar berkaitan dengan luas permukaan dan ukuran porinya. Untuk meningkatkan daya adsorpsi dari adsorben dapat dilakukan dengan menjadikan sebanyak mungkin porinya yang termasuk kategori micropori sehingga sesuai dengan ukuran molekul hidrogen sebagai adsorbate[28]. Cara yang dilakukan untuk itu adalah dengan membuatnya menjadi partikel berukuran nano melalui proses ball-milling, selanjutnya dibentuk menjadi padatan melalui penekanan mekanis dengan penambahan likuida lignoselulosa sebagai pengikat dan dilakukan proses aktivasi kembali secara fisika. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa pencampuran antara likuida lignoselulosa dan serbuk patikel nano untuk membentuk padatan karbon aktif sangat cocok digunakan dalam perbandingan 3:4 atau 4:4. Dengan mengubah bentuk karbon aktif granular menjadi padatan partikel nano karbon aktif dan proses aktivasi kembali secara fisika (reaktivasi) mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya terhadap gas hidrogen yakni 0.0014779 kg/kg untuk bentuk granular, 0.0016873 kg/kg untuk bentuk pelet dengan raktivasi 1 jam, 0.0027261 kg/kg untuk bentuk pelet dengan reaktivasi 3 jam, dan 0.0020384 kg/kg untuk bentuk pelet dengan reaktivasi 6 jam untuk masing-masing kondisi pada tekanan ± 4000 kPa dan suhu -5°C .

Kata kunci : penyimpan hidrogen, karbon aktif, likuida lignoselulosa, padatan partikel nano, adsorpsi Volumetrik.

ABSTRACT

Name : Lucky Jayadi
Majority : Mechanical Engineering
Tittle :

ANALYSIS OF REACTIVATION TIME EFFECT TO ADSORPTION OF HYDROGEN GASES IN NANO ACTIVATED CARBON INFORM OF PELLET WITH LIGNOCELLULOSES LIQUID BINDER

One of the alternative for hydrogen storing is adsorption method using activated carbon because the activated carbon has big adsorption ability related by the surface area and the pore size. The way to increase the adsorption ability from adsorben can be done by making as many as the pore which is micro pore category so it will suitable with the size of hydrogen molecule as a adsorbate[28]. The way is by making it to be a nano particle through ball milling process then it is formed as a solid by using mechanical pressure then it is added by lignocelluloses liquid as a binder and then there is a activation process physically. The result from experiment is the mixing between lignocelluloses liquid and powder of nano particle activated carbon to make solid of activated carbon very suitable at comparison 3:4 or 4:4. By changing the form of granular activated carbon to nano solid activated carbon and by giving activation process physically (reactivation) can increase the adsorption capacity of hydrogen gases that is 0.0014779 kg/kg for granular form, 0.0016873 kg/kg for solid form activation in 1 hour, 0.0027261 kg/kg solid form activation in 3 hours, and 0.0020384 kg/kg solid form activation in 6 hours for each in pressure at ± 4000 kPa and temperature at -5°C .

Key words: hydrogen storage, activated carbon, lignocelluloses liquid, solid nano particle, volumetric adsorption.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 LATAR BELAKANG	1
I.2 PERUMUSAN MASALAH.....	3
I.3 TUJUAN PENULISAN.....	4
I.4 BATASAN MASALAH.....	4
I.5 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
II.1 HIDROGEN	6
II.1.1 Properties Hidrogen	6
II.1.2 <i>Hydrogen Storage</i>	8
II.1.2.1 <i>Adsorption Hydrogen Storage</i>	10
II.1.3 Mekanise Adsorpsi Hydrogen pada Karbon Aktif	13
II.1.4 Adsorpsi Equilibrium.....	16
II.1.4.1 Adsorpsi Isotermal	16
II.1.4.2 Adsorpsi Isobar	17
II.1.4.3 Adsorpsi Isosterik	17
II.2 METODE PENGUJIAN ADSORPSI	18
II.2.1 Metode Gravimetrik	18
II.2.2 Metode Volumetrik	20
II.3 ADSORBEN	21

II.3.1 Karbon Aktif	22
II.4 PEMBUATAN LIKUIDA LIGNOSELULOSA	25
II.5 PEMBUATAN PADATAN NANO KARBON AKTIF DENGAN ZAT PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA	25
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
III.1 DIAGRAM ALIR	27
III.2 PENGHALUSAN KARBON AKTIF GRANULAR	27
III.3 PEMBUATAN PERTIKEL NANO KARBON AKTIF	28
III.4 PEMBUATAN PADATAN NANO KARBON AKTIF (PELLET)	29
III.4.1 Pembuatan Likuida Lignoselulosa	29
III.4.2 Pencampuran Partikel Partikel Nano Karbon Aktif dengan Likuida Lignoselulosa	30
III.4.3 Pencetakan Campuran Likuida Lignoselulosa dan Partikel Nano Karbon Aktif	32
III.5 PROSES AKTIVASI KEMBALI (REAKTIVASI) PADATAN KARBON AKTIF	33
III.6 PENGUJIAN ADSORPSI VOLUMETRIK	34
III.6.1 Pengukuran Volume <i>Charging Cell</i> dan Volume Kosong <i>Measuring Cell</i>	38
III.6.1.1 Pengukuran Volume <i>Charging Cell</i>	38
III.6.1.2 Pengukuran Volume Kosong <i>Measuring Cell</i>	39
III.7 PERSIAPAN PENGUJIAN	41
III.8 PROSEDUR PENELITIAN.....	41
III.9 <i>ERROR</i> ANALISIS PADA ADSORPSI ISOTERMAL	42
III.9.1 <i>Errors</i> pada Volume <i>Charging Cell</i> (V_{cc}) dan Volume Kosong pada <i>Measuring Cell</i> (V_{vv})	42
III.9.2 <i>Error</i> pada Pengukuran Temperatur	43
III.9.3 <i>Error</i> pada Pengukuran Tekanan	43
III.9.4 <i>Error</i> pada Pengukuran Massa Sampel	43
III.10 PERHITUNGAN MASSA ADSORBAT YANG DISERAP	43

III.11 PENGUJIAN PROPERTIES DARI SAMPEL PADATAN NANO PARTIKEL KARBON AKTIF DENGAN PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA	45
III.11.1 Luas Permukaan	45
III.11.2 Uji Energy Dispersive X-Ray Analisis untuk mendapatkan komposisi penyusun dari padatan karbon aktif	45
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
IV.1 HASIL UJI KARAKTERISTIK KARBON AKTIF	46
IV.1.1 Uji Komposisi	47
IV.1.2 Uji BET.....	48
IV.2 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI 35 ⁰ C	48
IV.3 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI -5 ⁰ C	49
IV.4 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35 ⁰ C	50
IV.5 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5 ⁰ C	52
IV.6 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35 ⁰ C	53
IV.7 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5 ⁰ C	54
IV.8 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35 ⁰ C	56
IV.9 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5 ⁰ C.....	57
IV.10 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35 ⁰ C DAN -5 ⁰ C	58
IV.11 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35 ⁰ C DAN -5 ⁰ C	60

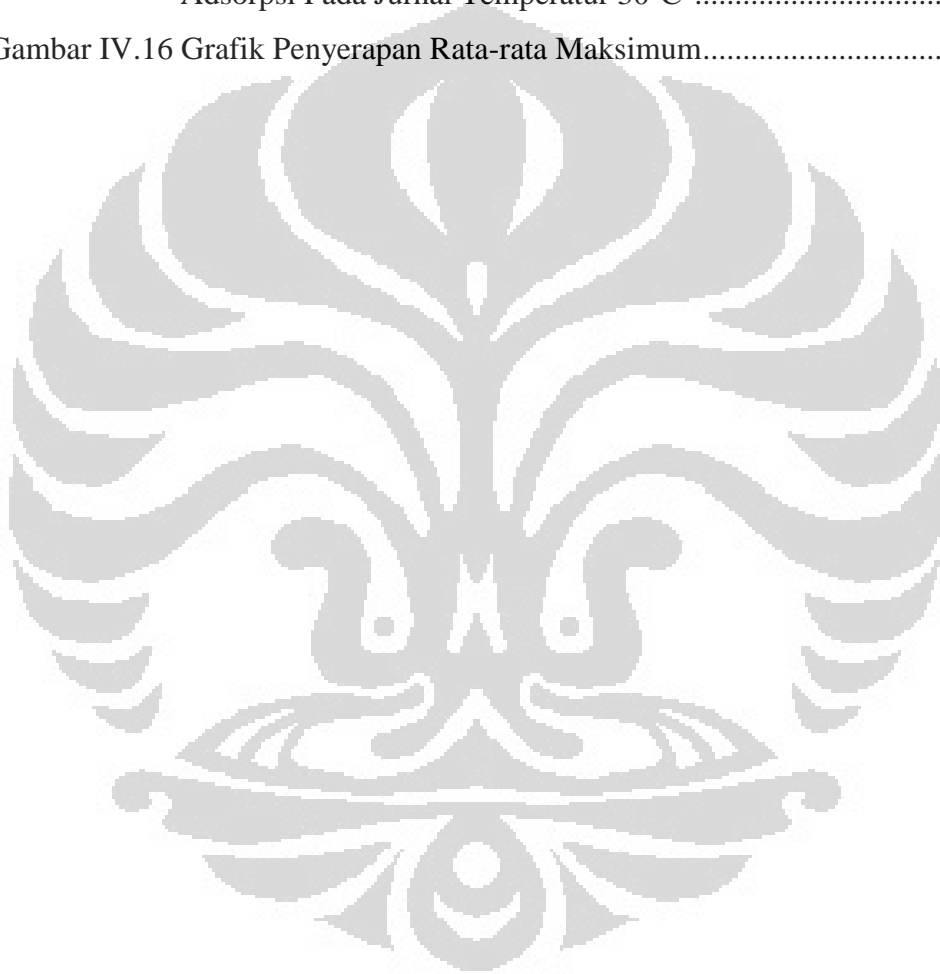
IV.12 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35 ⁰ C DAN -5 ⁰ C	61
IV.13 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35 ⁰ C DAN -5 ⁰ C	63
IV.14 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF JENIS GRANULAR, PELET REAKTIVASI 1 JAM, PELET REAKTIVASI 3 JAM, DAN PELET REAKTIVASI 6 JAM PADA TEMPERATUR UJI 35 ⁰ C	64
IV.15 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF JENIS GRANULAR, PELET REAKTIVASI 1 JAM, PELET REAKTIVASI 3 JAM, DAN PELET REAKTIVASI 6 JAM PADA TEMPERATUR UJI -5 ⁰ C	66
IV.16 PERBANDINGAN ADSORPSI HASIL UJI DENGAN ADSORPSI PADA JURNAL	67
IV.17 ADSORPSI RATA-RATA MAKSIMUM PADA SETIAP JENIS KARBON AKTIF	68
BAB V KESIMPULAN	70
V.1 KESIMPULAN	70
V.2 SARAN	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1 Grafik Emisi gas buang sektor energi	2
Gambar II.1 Diagram Phase Hydrogen	7
Gambar II.2 Densitas Hydrogen terhadap temperatur dan tekanan	8
Gambar II.3 Rasio Ekspansi Hydrogen dalam fase cair dan gas	10
Gambar II.4 Komparasi <i>Asorption storage</i> dan <i>Compression Storage</i>	11
Gambar II.5 Hubungan luas permukaan dan kapasitas penyerapan Hidrogen pada tekanan 4 mpa	12
Gambar II.6 Potongan Melintang Material karbon Aktif	15
Gambar II.7 Proses Adsorpsi Pada Karbon Aktif	15
Gambar II.8 Grafik Data yang Diperoleh pada Adsorpsi Isotermal	16
Gambar II.9 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isobar	17
Gambar II.10 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi <i>Isostere</i>	17
Gambar II.11 Skema Metode Gravimetrik dengan Menggunakan <i>Two Beam</i>	19
Gambar II.12 Skema Metode Gravimetrik dengan Menggunakan <i>Magnetic</i>	19
Gambar II.13 Skema Metode Volumetrik	20
Gambar II.14 Porositas pada karbon	23
Gambar III.1 Diagram alir Penelitian	27
Gambar III.2 Alat <i>Planetary Ball Mill</i>	29
Gambar III.3 Pencampuran Likuida lignoselulosa dengan powder nano karbon aktif secara langsung.	31
Gambar III.4 Pencampuran pengenceran Likuida lignoselulosa dengan powder nano karbon aktif.....	32
Gambar III.5 Alat Cetak	33
Gambar III.6 Alat Aktivasi Fisika	34
Gambar III.7 Alat Uji Adsorpsi	34
Gambar III.8 Circulating Thermal Bath	35
Gambar III.9 Pressure Transmitter (WIKA)	35
Gambar III.10 Modul Nasional Instrument	36

Gambar III.11 Pompa Vakum (ARUKI)	36
Gambar III.12 Pemanas (Heater)	37
Gambar III.13 Skema Alat Uji adsorpsi Isothermal	38
Gambar III.14 Skema Proses Pengukuran Volume <i>Charging Cell</i>	39
Gambar III.15 Skema Proses Pengukuran Volume Kosong <i>Measuring Cell</i>	40
Gambar III.16 Skema Keseimbangan Massa pada Proses Penyerapan	45
Gambar IV.1 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35 ⁰ C pada Karbon Aktif Granular	48
Gambar IV.2 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5 ⁰ C pada Karbon Aktif Granular	50
Gambar IV.3 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35 ⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam	51
Gambar IV.4 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5 ⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam	52
Gambar IV.5 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35 ⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam	54
Gambar IV.6 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5 ⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam	55
Gambar IV.7 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam	56
Gambar IV.8 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5 C pada Karbon Aktif Pellet Reaktivasi 6 Jam	58
Gambar IV.9 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Granular	59
Gambar IV.10 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 1 Jam	61
Gambar IV.11 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 3 Jam	62

Gambar IV.12 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pellet 6 Jam	64
Gambar IV.13 Grafik Komparasi Adsorpsi Isotermal rata-rata Hidrogen pada Temperatur 35 ⁰ C	65
Gambar IV.14 Grafik Komparasi Adsorpsi Isotermal rata-rata Hidrogen pada Temperatur -5 ⁰ C	67
Gambar IV.15 Grafik Komparasi Adsorpsi Hasil Uji Temperatur 35 ⁰ C dengan Adsorpsi Pada Jurnal Temperatur 30 ⁰ C	68
Gambar IV.16 Grafik Penyerapan Rata-rata Maksimum.....	69



DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Pengujian Daya Serap Hidrogen pada Karbon Aktif	12
Tabel III.1 Unsur Pembuat Likuida Lignoselulosa	30
Tabel III.2 Campuran Likuida Lignoselulosa dengan Serbuk Karbon Aktif	31
Tabel III.3 Nilai Volume kosong pada <i>measuring cell</i> (V_{vv})	44
Tabel IV.1 Hasil Uji Komposisi	46
Tabel IV.2 Hasil Uji BET	47
Tabel IV.3 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35^0 C pada Karbon Aktif Granular	48
Tabel IV.4 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5^0 C pada Karbon Aktif Granular	49
Tabel IV.5 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam	51
Tabel IV.6 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam	52
Tabel IV.7 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam	53
Tabel IV.8 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam	55
Tabel IV.9 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam	56
Tabel IV.10 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5^0 C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam	57
Tabel IV.11 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Granular	59
Tabel IV.12 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pellet 1 Jam	60
Tabel IV.13 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pellet 3 Jam	62
Tabel IV.14 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pellet 6 Jam	63
Tabel IV. 15 Penyerapan Rata-rata Maksimum	68

BAB I

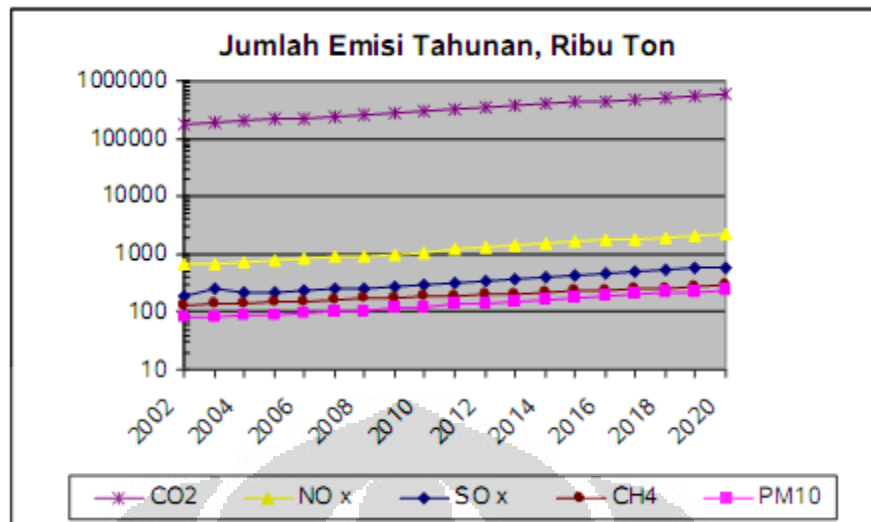
PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Selama bertahun-tahun, bahan bakar fosil nyaris menjadi satu-satunya sumber energi di planet ini. Sehingga tidak heran kalau tahun-tahun belakangan ini kita dihadapkan dengan berbagai masalah. Ketika dibakar untuk menghasilkan energi, bahan bakar fosil ini melepaskan karbon ke udara. Pelepasan karbon ini menyebabkan polusi dan merusak ozon, membuat bumi yang kita diami semakin panas. Meningkatnya produksi karbon hasil pembakaran bahan bakar fosil ini belakangan disinyalir telah menyebabkan fenomena pemanasan global (Global Warming).

Emisi gas CO₂ dan CH₄ berperan penting dalam gejala pemanasan global atau dikenal sebagai gejala rumah kaca (green house effect) yang diikuti oleh penipisan lapisan ozon, telah menimbulkan ketidak-teraturan iklim dunia. Dampak ini dapat berpengaruh terhadap pola iklim di Indonesia, mengganggu ekosistem, merusak SDA hayati yang merupakan sumber energi berbasis biomassa. Oleh karena itu pengelolaan sumber daya alam dan pengembangan energi yang berbasis pada sumber energi terbarukan (seperti antara lain biomassa, panas bumi, surya, angin dll.) harus menjadi pertimbangan yang utama dalam pengelolaan dan pemakaian sumber energi dimasa datang[30].

Peningkatan emisi gas buang hasil pembakaran berupa CO₂ dari 183,1 juta Ton pada tahun 2002 menjadi 584,9 juta Ton pada tahun 2020 (3,2 kali lipat), NO_x dari 651,5 ribu Ton pada tahun 2002 menjadi 2.292,5 ribu Ton pada tahun 2020 (3,5 kali lipat), SO_x dari 192,5 ribu Ton pada tahun 2002 menjadi 600 juta Ton pada tahun 2020 (3,1 kali lipat), CH₄ dari 131,7 ribu Ton pada tahun 2002 menjadi 286,7 juta Ton pada tahun 2020 (2,2 kali lipat), abu terbang dari 81,2 ribu Ton pada tahun 2002 menjadi 238,1 ribu Ton pada tahun 2020 (2,9 kali lipat)[30].



Gambar I.1 Grafik Emisi gas buang sektor energi

Masalah dengan bahan bakar fosil ini tidak hanya sampai di situ. besarnya konsumsi bahan bakar ini dalam seabad terakhir, membuat fakta menipisnya cadangan bahan bakar ini tidak bisa kita hindari. Sementara itu, ketika cadangan bahan bakar fosil semakin menipis, kebutuhan atas energi bukannya turun malah semakin hari semakin tinggi. Akibatnya sesuai prinsip ekonomi Penawaran dan permintaan, maka tanpa bisa dihindari harga bahan bakar ini pun semakin hari semakin melambung tinggi[20]. Hal ini tentu sangat mengkhawatirkan, karena kalau sampai terjadi dan manusia belum menemukan alternatif lain sebagai sumber energi maka krisis energy parah tidak akan dapat dielakkan, Karena alasan itulah, belakangan kita lihat mulai banyak usaha manusia untuk mulai memanfaatkan sumber energy terbarukan dengan lebih maksimal. Sumber energi terbarukan itu bisa berupa tenaga matahari, angin, air, panas bumi, bio massa ,gelombang laut dan hidrogen. Dibandingkan semua energi terbarukan yang lain, hidrogen memiliki beberapa keunggulan antara lain [21]; bahan bakar hidrogen bersifat mobile seperti bahan bakar fosil yang kita kenal selama ini. Bedanya, tidak seperti bahan bakar fosil, pembakaran hidrogen tidak menyebabkan polusi karbon. Ketika terbakar, hidrogen melepaskan energi berupa panas dan menghasilkan air sebagai bahan buangan ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$). Sama sekali tidak mengeluarkan polutan karbon.

Dibanding bahan bakar fosil yang umum kita gunakan selama ini, yaitu bensin dan solar, pemakaian hidrogen sebagai bahan bakar jauh lebih efektif dalam pembakaran hampir 3 kali lipat dari panas yang bisa dihasilkan oleh pembakaran bensin dan solar. Keunggulan lain dari Hidrogen adalah jumlahnya di alam ini sangat melimpah, 93 % dari seluruh atom yang ada di jagat raya ini adalah hidrogen, unsur yang paling sederhana dari semua unsur yang ada di alam ini . Tiga perempat dari massa jagat raya ini adalah hidrogen. Di bumi sendiri bentuk hidrogen yang paling umum kita kenal adalah air (H_2O). Walaupun memiliki banyak keunggulan, penggunaan hidrogen Sebagai bahan bakar juga memiliki kekurangan yaitu dalam hal penyimpanannya, hidrogen dalam suhu kamar dan tekanan atmosfer berbentuk fase gas sehingga memiliki rasio energi yang sangat rendah terhadap volumenya jika disimpan dalam bentuk gas[20]. Penelitian berkaitan dengan metode dan material untuk menyimpan hidrogen terus dilakukan, dengan hasil sejauh ini adalah kesimpulan bahwa penyimpanan hidrogen memakai prinsip adsorpsi dengan karbon aktif berbentuk granular sebagai adsorben sangat menjanjikan karena bisa menurunkan tekanan dalam tangki dengan kapasitas penyimpanan yang relatif sama[1-2, 3-11, 22].

Setelah penelitian daya adsorpsi hidrogen pada karbon aktif dalam bentuk granular mulai mapan, maka penelitian mulai mengarahkan pada usaha meningkatkan daya adsorpsi dari karbon aktif yang salah satunya dapat dilakukan dengan menjadikan partikelnya berukuran nano[6, 13-17] sehingga akan lebih banyak memiliki mikropori yang akan meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Dalam bentuk nano partikel kemampuan adsorpsi hidrogen oleh karbon aktif akan meningkat dibandingkan bentuk karbon aktif granular tapi bulk densitasnya masih rendah. Menjadikan partikel nano karbon aktif menjadi Bentuk padatan dengan penekanan mekanis dan penambahan likuida lignoselulosa sebagai pengikat akan lebih meningkatkan lagi kemampuan adsorpsi hidrogen oleh karbon aktif karena bulk densitasnya akan meningkat[18]

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Mengembangkan teknologi penyimpanan hidrogen yang aman, handal, kompak, dan hemat biaya adalah salah satu hambatan teknis paling menantang untuk meluasnya penggunaan hidrogen sebagai bentuk energi. karena

hidrogen memiliki karakteristik fisik yang membuatnya sulit untuk disimpan dalam jumlah besar tanpa menyita sejumlah besar ruang.

Karena hidrogen adalah berupa gas pada temperatur dan tekanan atmosfer maka kendala terbesar penggunaannya selama ini adalah penyimpanannya dimana membutuhkan konstruksi tangki kuat untuk menahan tekanannya yang bisa mencapai 2000 Psi, maka kemungkinan untuk disimpan dengan menggunakan metode adsorpsi semisal karbon aktif menjadi sangat menarik karena menjanjikan penurunan tekanan yang cukup signifikan dengan kapasitas penyimpanan yang sama.

Salah satu cara untuk meningkatkan daya adsorpsi dari suatu adsorben adalah dengan menjadikan sebanyak mungkin pori adsorben (karbon aktif) yang termasuk katagori micropore yang sesuai dengan ukuran molekul hidrogen yang menjadi adsorbate. Dengan semakin besarnya prosentase mikropori yang dihasilkan dibandingkan makropori dan mesoporinya, maka kemampuan adsorpsi dari adsorben tersebut diharapkan akan meningkat. Salah satu cara untuk itu adalah dengan membuatnya menjadi partikel berukuran nano melalui ball-milling proses dan melakukan proses aktivasi dengan jangka waktu tertentu untuk menghilangkan unsur pengotor pada karbon aktif tersebut.

I.3 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk:

1. Mengetahui karakteristik penyerapan gas hidrogen oleh nano karbon aktif berbentuk pelet dengan pengikat likuida lignoselulosa.
2. Mengetahui karakteristik penyerapan berdasarkan lamanya waktu reaktivasi

I.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah meneliti perbandingan kemampuan adsorpsi karbon aktif komersial yang berasal dari batu bara Indonesia kelas rendah dalam bentuk nano partikel yang dibuat pelet dengan pengikat likuida lignoselulosa yang telah melalui proses *mechanical ball milling* selama 30 jam dengan diberikan variasi waktu reaktivasi secara fisika.

I.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini membahas metode pengujian terhadap sampel yang digunakan dan juga metode dari sistem kerja alat yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas analisis data dari hasil pengujian yang telah diolah kemudian disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini membahas kesimpulan yang merupakan intisari dari pengujian yang telah dilakukan serta penyampaian saran

BAB II

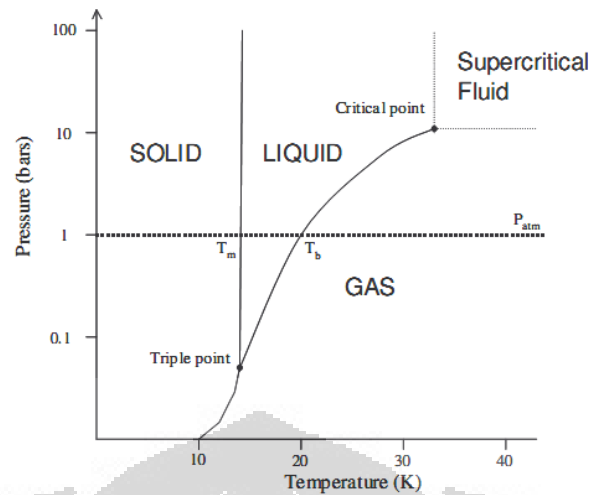
LANDASAN TEORI

II.1 HIDROGEN

Hidrogen ditemukan pada 1766 oleh Henry Cavendish dan dinamai oleh Lavoisier dari kata Yunani hydro yang berarti air dan gen makna generator. Ini adalah elemen pertama dari tabel periodik dan unsur yang paling melimpah di alam semesta, Hidrogen merupakan 90 persen dari unsure alam semesta menurut beratnya. Namun, tidak umum ditemukan dalam bentuknya yang murni, karena mudah menggabungkan dengan unsur-unsur lainnya. Hidrogen tidak berasa, tidak berwarna, tidak berbau, dan non-gas beracun dalam kondisi normal di Bumi. Hidrogen biasanya ada sebagai molekul diatomik, yang berarti setiap molekul memiliki dua atom hidrogen, ini adalah mengapa hidrogen murni biasanya dinyatakan sebagai "H₂".

II.1.1 Properties Hidrogen

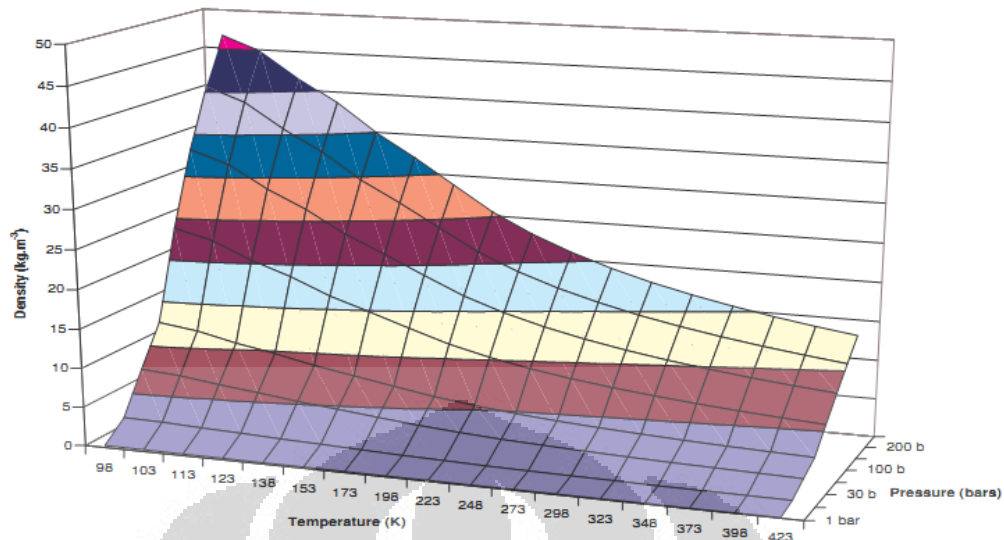
Hidrogen ini paling sering dilihat sebagai gas atau cairan, dan pada kondisi kamar itu adalah gas. hidrogen memiliki nomor atom 1, berat molekul 2,016 g.mol⁻¹ dan dimensi molekul yang bervariasi 3,1-2,4 Angstrom. Molekul hidrogen pada kondisi atmosfer adalah campuran dari 75% dari orto-hidrogen dan 25% para-hidrogen, dua bentuk isometrik dibedakan oleh berbagai spin nuklirnya. Berbagai stabil di bawah -253 ° C adalah para-hidrogen, dan komposisi kesetimbangan diperoleh pada -73 ° C. Diagram fase hidrogen ditunjukkan di bawah ini, dengan titik triple di -259,1 ° C dan 0,07 bar dan titik kritis pada -239,8 ° C dan 13. Pada tekanan atmosfer titik didih (T_b) adalah pada -253 ° C dan titik leleh (T_m) pada -259 ° C. Garis putus-putus adalah hipotetik, dengan mengingat bahwa informasi yang paling penting dari diagram fase menjadi transisi fase pada tekanan atmosfer dan titik-titik triple dan kritis.



Gambar II.1 Diagram Phase Hydrogen

Density hidrogen pada tekanan atmosfer sebagai gas (pada suhu kamar) adalah $0,09 \text{ kg.m}^{-3}$, sebagai cairan (pada $-253 \text{ }^\circ \text{C}$) $70,8 \text{ kg.m}^{-3}$ dan sebagai padat (pada $-262 \text{ }^\circ \text{C}$) $70,6 \text{ kg.m}^{-3}$. Titik kritis untuk hidrogen pada tekanan 13 bar dan suhu sekitar $-240 \text{ }^\circ \text{C}$, yang berarti bahwa pada setiap suhu di atas $-240 \text{ }^\circ \text{C}$ hidrogen tetap gas pada tekanan berapapun, dan tidak akan pernah menjadi cair pada suhu kamar. Untuk hidrogen cair, suhu harus dijaga antara $-240 \text{ }^\circ \text{C}$ dan $-259 \text{ }^\circ \text{C}$ dengan tekanan yang sesuai. Semakin rendah suhu yang lebih rendah tekanan yang dibutuhkan untuk hidrogen menjadi cair.

Hidrogen sebagai gas sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu dan / atau tekanan dan variasi density gas sebagai fungsi tekanan dan temperatur ditunjukkan di bawah ini. Density gas meningkat dengan suhu turun pada tekanan konstan, dan pada suhu konstan semakin besar tekanan yang lebih besar kepadatan gas. Dalam rangka untuk meningkatkan densitas pada suhu konstan tekanan harus ditingkatkan, dan sama, untuk meningkatkan densitas gas pada tekanan konstan, suhu harus dikurangi.



Gambar II.2 Densitas Hydrogen terhadap temperatur dan tekanan

Sumber : David LANGOHR, Ecole Des mines de Paris, These

II.1.2 *Hydrogen Storage*

Hydrogen storage saat ini menjadi kendala terbesar dalam upaya untuk membuat penggunaan *hydrogen* menjadi lebih komersial, melihat tantangan tersebut banyak peneliti yang menjadikan Hydrogen sebagai topic riset utama. Penyimpanan *hydrogen* yang *feasible* haruslah *cost-effective* dan harus memenuhi standar international yang terkait dengan lingkungan dan keselamatan.

Berbagai teknologi penyimpanan gas hidrogen telah dikembangkan dengan mempertimbangkan biaya, berat dan volume, efisiensi, keawetan, waktu pengisian dan pengosongan (charge and discharge), temperatur kerja serta efisiensinya.

1. Tangki bertekanan tinggi

Merupakan teknologi yang paling umum dan simpel walaupun secara volumetrik dan grafimetrik tidak efisien. Semakin tinggi tekanan, semakin besar energi per unit volume. Hidrogen tidak terkompresi mempunyai densitas energi 10,7 kJ/L, pada saat dikompresi pada tekanan 750 bar, densitas energinya meningkat menjadi 4,7 MJ/L. Namun masih jauh lebih kecil daripada gasoline, yaitu 34,656 MJ/L

2. Tangki hidrogen cair (Cryogenic)

Pada teknologi ini, gas hidrogen dicairkan pada suhu yang sangat rendah. Pada tekanan 1 atm, dibutuhkan temperatur hingga 22 K. Energi untuk mendinginkan hidrogen cukup besar, hingga mencapai 1/3 dari energi yang disimpan. Densitas energi hingga mencapai 8,4 MJ/L. Walaupun sangat berat, namun volumenya lebih kecil daripada tangki tekanan tinggi sehingga cocok untuk aplikasi statis.

3. Logam dan alloy

Logam atau paduan logam (alloy) menyerupai sponge yang dapat menyerap hidrogen. Hidrogen akan terabsorpsi pada ruang interstitial pada kisi kristal logam sehingga hidrogen tidak mudah terbakar dan lebih aman. Contohnya: TiFe (1,5 wt%) dan Mg₂NiH₄ (3,3 wt%).

4. Kimiawi

Pada metode ini, hidrogen disimpan dalam bentuk senyawa kimia lain yang lebih aman. Pada saat akan digunakan, baru senyawa ini diubah menjadi hidrogen melalui reaksi kimia.

a. Metanol

Infrastruktur untuk distribusi metanol sangat mudah karena sama dengan gasolin. Pada saat digunakan, metanol akan diubah menjadi gas H₂ dengan melepaskan gas CO dan CO₂.

b. Ammonia

Efisiensi volumetrik sedikit lebih tinggi daripada metanol namun bersifat toksik. Harus dikatalisi pada suhu 800-900 oC agar dapat melepaskan hidrogen. Biasanya didistribusikan dalam bentuk cair pada tekanan 8 atm.

c. Hidrida logam

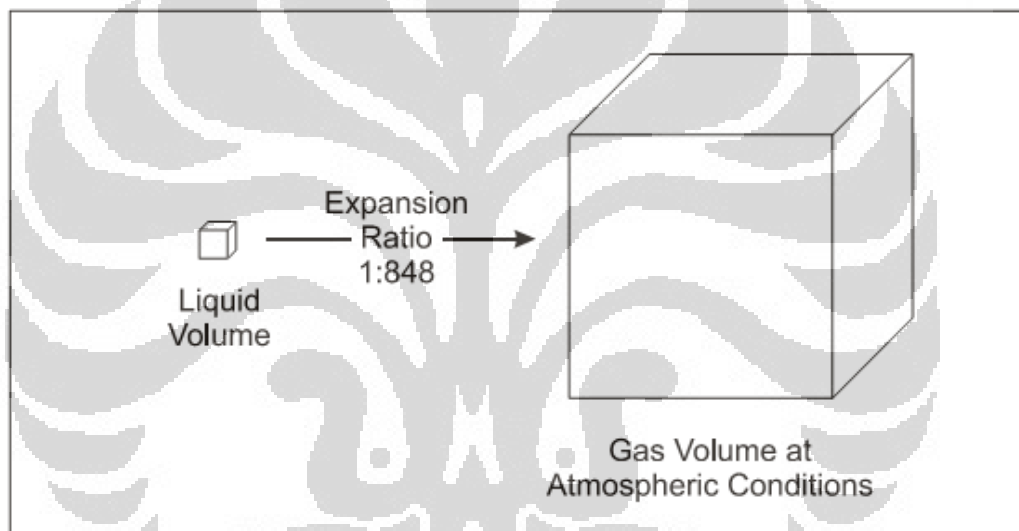
Merupakan senyawa reaktif yang akan segera melepaskan hidrogen apabila bereaksi dengan air. Contohnya adalah NaH, LiH, NaAlH₄, NaBH₄, LiBH₄, dan CaH₂.

5. Adsorpsi Storage

Pada metode ini, hidrogen diadsorpsi pada permukaan bahan berpori seperti nanofiber grafit, nanotube karbon, zeolit dan *Metal Organic Framework* (MOF).

II.1.2.1 Adsorption Hydrogen Storage

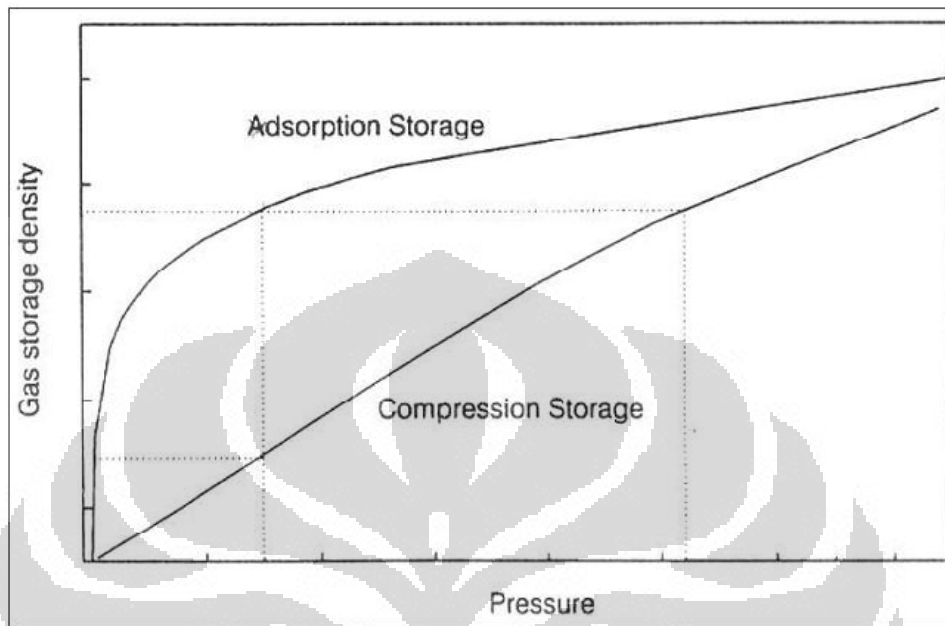
Teknologi penyimpanan memiliki posisi paling strategis dalam isu aplikasi Hidrogen sebagai sumber energi karena hidrogen memiliki karakteristik fisik yang membuatnya sulit untuk disimpan dalam jumlah besar tanpa menyita sejumlah besar ruang.



Gambar II.3 Rasio Ekspansi Hydrogen dalam fase cair dan gas
Sumber : David LANGOHR, Ecole Des mines de Paris, These

Karena hidrogen adalah berupa gas dalam temperatur dan tekanan atmosfer, maka kemungkinan untuk disimpan dengan menggunakan metode adsorpsi semisal karbon aktif menjadi sangat menarik. Material karbon aktif dapat dengan mudah untuk mengikat dan melepas *hydrogen* melalui mekanisme adsorpsi dan desorpsi. Hal ini menjadikan *hydrogen storage* dengan menggunakan material karbon aktif menjanjikan sebagai teknologi penyimpanan hydrogen dimasa yang akan datang. Dengan mengadsorpsi hydrogen pada karbon aktif, fase hydrogen akan berubah dari gas ke fase mendekati cair sehingga memungkinkan

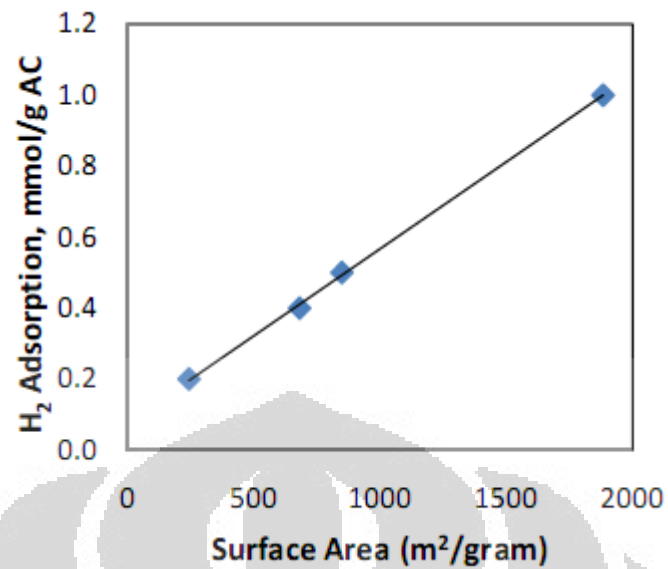
untuk menurunkan tekanan pada kapasitas penyimpanan yang sama atau meningkatkan kapasitas penyimpanan dengan tekanan yang sama.



Gambar II.4 Komparasi *Adsorption storage* dan *Compression Storage*

Sumber : David LANGOHR, Ecole Des mines de Paris, These

Metode penyimpanan hydrogen dengan menggunakan system adsorpsi dalam material karbon dapat dilihat sebagai sebuah proses dengan dua mekanisme yaitu adsorpsi awal dari hydrogen pada permukaan dari adsorben dan mass transfer dari hydrogen molekul masuk ke bagian dalam dari adsorben. Kapasitas adsorpsi sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling mempengaruhi dan dalam proses yang kompleks, misalnya luas permukaan, ukuran pori, jenis permukaan, komposisi permukaan adsorben dan temperatur serta tekanan kerjanya. Dari parameter-parameter tersebut, ada dua parameter yang cukup penting untuk melihat pengaruh terhadap daya adsorpsinya yaitu struktur pori dan luas permukaan spesifik.



Gambar II.5 Hubungan luas permukaan dan kapasitas penyerapan Hidrogen pada tekanan 4 mpa
(Mahmud sudibandriyo 2001)

Beberapa pengujian daya serap karbon aktif terhadap hydrogen untuk jenis adsorben yang berbeda serta temperatur kerja yang bervariasi sebagaimana terlihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Pengujian Daya Serap Hidrogen pada Karbon Aktif

Material	Temperatur	Loading
AC Maxorb	303 K	0,67 wt%
ACF	77 K	5,4 wt%
AC Maxorb	303 K	2,6 w%
SWCNT	77 K	4,5 w%
CNT	298 K	2 w%
AC	77 K	2,02 w%
ACF	77 K	3,8 w%
AC	77 K	4,5 w%

Material karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben yang baik untuk gas storage harus memiliki kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi dalam basis volumetrik. Untuk mencapai kondisi ini karbon harus:

- a. Jumlah mikropori yang besar, karena mikropor merupakan komponen yang banyak menyerap molekul yang kecil
- b. Memiliki bentuk yang sangat kompak, hal ini akan meningkatkan bulk density dan akhirnya juga *volumetric storage capacity*
- c. Memiliki ukuran pori yang sesuai dengan diameter molekul adsorbat, yang akan mengoptimalkan jumlah zat yang teradsorpsi
- d. Memiliki mesoporosity yang relatif rendah, karena mesopori memiliki kontribusi yang kecil terhadap kapasitas adsorpsi dan mengurangi bulk density
- e. Memiliki global heat and mass transfer dari material karbon yang cukup tinggi.

II.1.3 Mekanisme Adsorpsi Hidrogen pada Karbon Aktif

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa dimana molekul-molekul dari suatu senyawa terikat oleh permukaan zat padat. Molekul-molekul pada zat padat atau zat cair memiliki gaya dalam keadaan tidak setimbang dimana gaya kohesi cenderung lebih besar dari pada gaya adhesi. Ketidaksetimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat atau zat cair tersebut cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan pada permukaannya. Fenomena konsentrasi zat pada permukaan padatan atau cairan disebut fasa teradsorbat atau adsorbat sedangkan zat yang menyerap atau menariknya disebut adsorben.

Dua prinsip penyimpanan hidrogen pada beberapa material adsorben:

- a) Penyerapan molekul hidrogen pada permukaan seperti *physisorption* (penyerapan fisika).

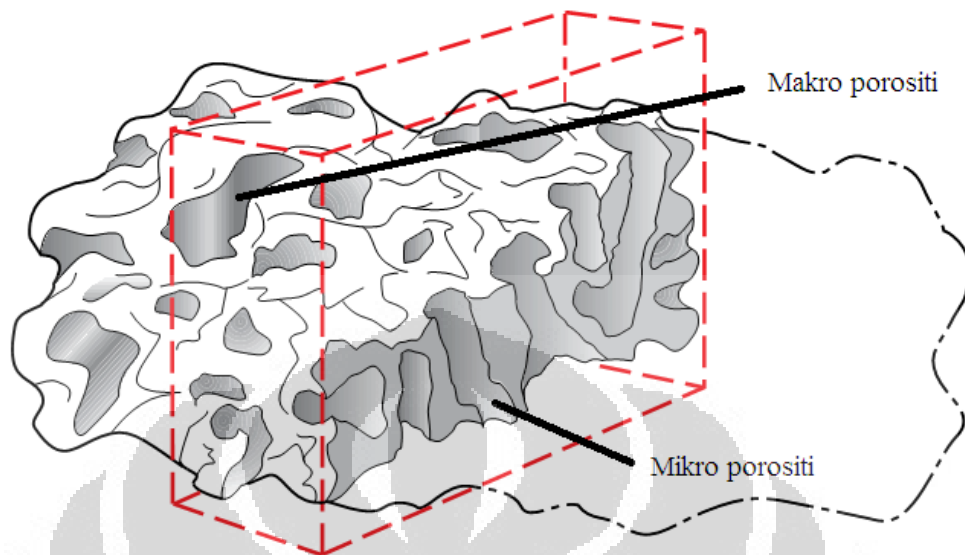
Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya intramolekular. Gaya intermolekular adalah gaya tarik menarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri sedangkan gaya intramolekular adalah gaya tarik menarik antara molekul fluida dengan molekul permukaan padatan. Di dalam penyerapan ini, adsorbat ditahan pada bagian permukaan karbon karena adanya fluktuasi distribusi muatan listrik

yang lemah. Adsorpsi ini dapat berlangsung di bawah temperatur kritis adsorbat yang relatif rendah. Adsorpsi menurun dengan meningkatnya temperatur. Energi aktivasi yang terjadi untuk adsorpsi biasanya tidak lebih dari 1 kkal/g.mol. Oleh karena itu gaya yang dilibatkan pada adsorpsi fisika adalah gaya *Van Der Walls* yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Dengan demikian adsorbat tidak terikat secara kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya. Dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Bila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah.

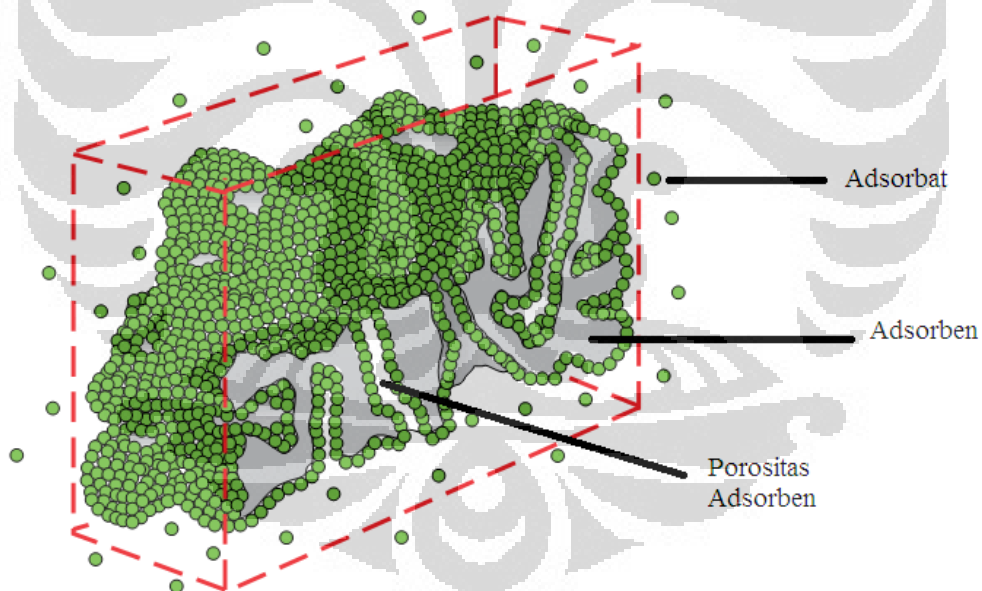
- b) Atom-atom hidrogen larut dan membentuk ikatan kimia seperti *chemisorption* (penyerapan kimia)[19].

Adsorpsi jenis ini merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Yang paling penting dalam adsorpsi kimia adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer*. Pendekatannya adalah dengan menentukan kondisi reaksi sehingga hanya adsorpsi kimia yang terbentuk dan hanya terbentuk *monolayer*. Fisisorpsi membatasi rasio hidrogen ke karbon kurang dari satu atom hidrogen perdua atom karbon (4.2 % massa). Berbeda dengan kemisorpsi, rasio pada dua atom hidrogen persatu karbon yang diwujudkan dalam kasus polietilen [12]. Gaya *Van Der Walls* sering terjadi pada atom molekul non-polar (beberapa hidrokarbon adalah molekul non polar). Penyerapan secara fisika memiliki sebuah ikatan energi secara normal biasanya dari

urutan 0.1 eV sedangkan penyerapan secara kimia memiliki ikatan kovalen C-H , dengan energi yang meningkat dari 2-3eV[12].



Gambar II.6 Potongan Melintang Material karbon Aktif



Gambar II.7 Proses Adsorpsi Pada Karbon Aktif

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah (Hammer, 1977 dikutip petrus, 1996) :

1. Karakteristik fisik dan kimia dari adsorben seperti luas permukaan, ukuran pori-pori, komposisi dan lain-lain.

2. Karakteristik fisik dan kimia dari zat terlarut yang teradsorpsi, seperti ukuran molekul, polaritas molekul, komposisi kimia, PH, suhu dan lain sebagainya.
3. Konsentrasi zat terlarut yang teradsorpsi.
4. Waktu kontak.

II.1.4 Adsorpsi Equilibrium

Pada sistem adsorbat-adsorben, jumlah adsorbat yang terserap pada kondisi equilibrium adalah merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur (Bansal, R.C. dkk., 2005);

$$\frac{x}{m} = f(p, T) \quad (2.1)$$

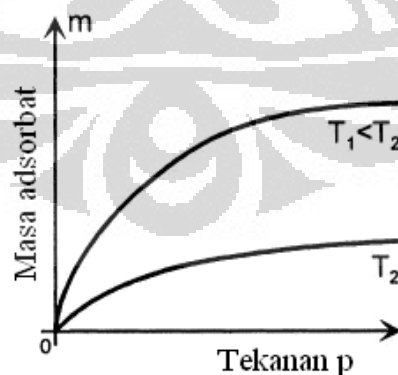
Dimana, x/m adalah jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben pada tekanan equilibrium dan pada temperatur adsorpsi.

Adsorpsi equilibrium dapat didekati dalam tiga cara, yaitu:

II.1.4.1 Adsorpsi Isotermal

Pada adsorpsi isotermal, temperatur adsorpsi dijaga konstan dengan demikian x/m tergantung pada tekanan equilibrium sehingga jumlah adsorbat yang terserap adalah (Bansal, R.C. dkk., 2005):

$$\frac{x}{m} = f(p) \quad [T = \text{konstan}] \quad (2.2)$$



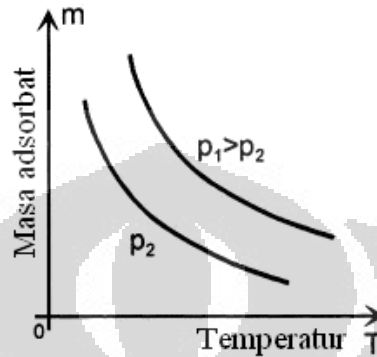
Gambar II.8 Grafik Data yang Diperoleh pada Adsorpsi Isotermal

(Keller, Jurgen., 2005)

II.1.4.2 Adsorpsi Isobar

Pada adsorpsi isobar, tekanan adsorpsi dijaga konstan dan temperatur adsorpsi divariasikan dengan demikian x/m adalah (Bansal, R.C. dkk., 2005):

$$\frac{x}{m} = f(T) \quad [p = \text{konstan}] \quad (2.3)$$

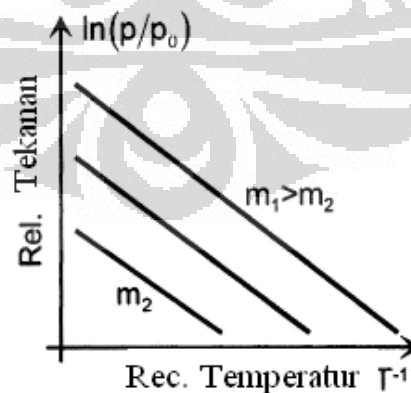


Gambar II.9 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isobar
(Keller, Jurgen., 2005)

II.1.4.3 Adsorpsi Isosterik

Pada adsorpsi isosterik dimana jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben adalah konstan dan temperatur divariasikan sehingga tekanan menjadi fungsi yang sangat esensial untuk menjaga x/m tetap konstan (Bansal, R.C. dkk., 2005).

$$p = f(T) \quad \left[\frac{x}{m} = \text{konstan} \right] \quad (2.4)$$



Gambar II.10 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi *Isostere*
(Keller, Jurgen., 2005)

Data eksperimen adsorpsi yang berupa jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben biasanya dihasilkan dari proses adsorpsi isothermal, hal tersebut dikarenakan investigasi proses adsorpsi pada temperatur konstan adalah cara atau metode yang paling mudah. Selain itu, analisis teoritis data adsorpsi untuk asumsi pada pemodelan biasanya juga menggunakan data adsorpsi isothermal (Bansal, R.C. dkk., 2005).

Dikarenakan ketiga tipe adsorpsi equilibrium tersebut di atas adalah merupakan fungsi equilibrium, sehingga dimungkinkan untuk menghasilkan atau mendapatkan satu parameter dengan menggunakan parameter dari salah satunya (Bansal, R.C. dkk., 2005).

II.2 METODE PENGUJIAN ADSORPSI

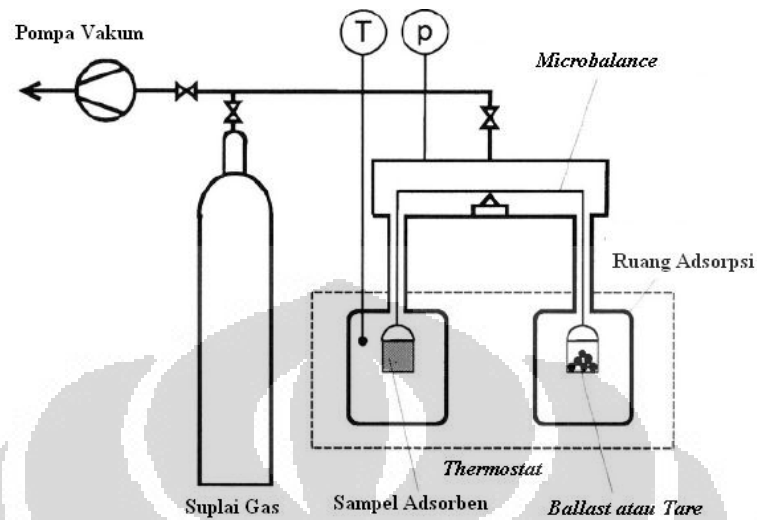
Terdapat empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi, yaitu: metode *carrier gas*, metode volumetrik, metode gravimetrik dan metode kalorimetrik. Empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi tersebut telah digunakan di berbagai negara dan telah diakui secara internasional (Keller, J.U et al, 2002). Dalam tinjauan pustaka ini hanya akan dibahas dua buah metode yang paling banyak digunakan yaitu metode gravimetrik dan volumetrik.

II.2.1 Metode Gravimetrik

Metode gravimetrik memiliki akurasi untuk pengukuran paling tinggi diantara metode lain pada pengukuran adsorpsi isothermal. Pengukuran adsorpsi isothermal yang dapat dilakukan menggunakan metode gravimetrik, antara lain: massa yang terserap pada adsorben, tekanan gas dan temperatur. Alat yang digunakan untuk mengukur adsorpsi isothermal adalah *Thermograph Microbalance Aparatus* (TMA) (Rouquerol, J et al, 1998).

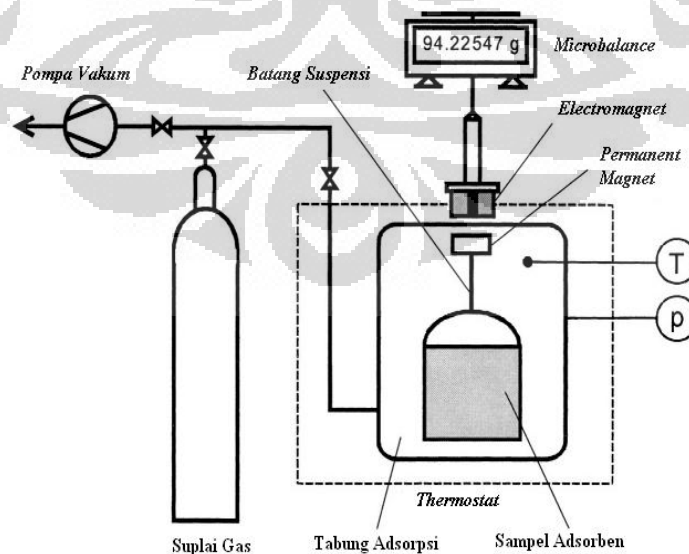
Preparasi sampel pengujian menggunakan metode gravimetrik mutlak dilakukan untuk mendapatkan pengujian yang optimum. Preparasi sampel dilakukan dengan *degassing* sampel untuk mendapatkan massa kering sampel serta temperatur, tekanan dan waktu untuk mendapatkan data pengujian yang valid (Keller, J.U et al, 2002). Alat uji adsorpsi menggunakan metode gravimetrik membutuhkan investasi yang cukup besar, karena untuk memiliki TGA dengan

keakurasian tinggi harus menyediakan jutaan dollar (Rouquerol, J et al, 1998).
Skematik *Thermograph Microbalance Aparatus* sebagai berikut:



Gambar II.11 Skema Metode Gravimetrik dengan Menggunakan *Two Beam Balance* (Keller, Jurgen., 2005)

Pada Gambar II.11 terlihat skema metode gravimetrik dengan menggunakan *Two Beam Balance*, dimana sampel adsorben diletakkan di dalam tabung, dan selanjutnya ketika massa adsorben bertambah karena akibat terserapnya adsorbat, maka *microbalance* langsung membaca perubahan berat sampel adsorben tersebut.



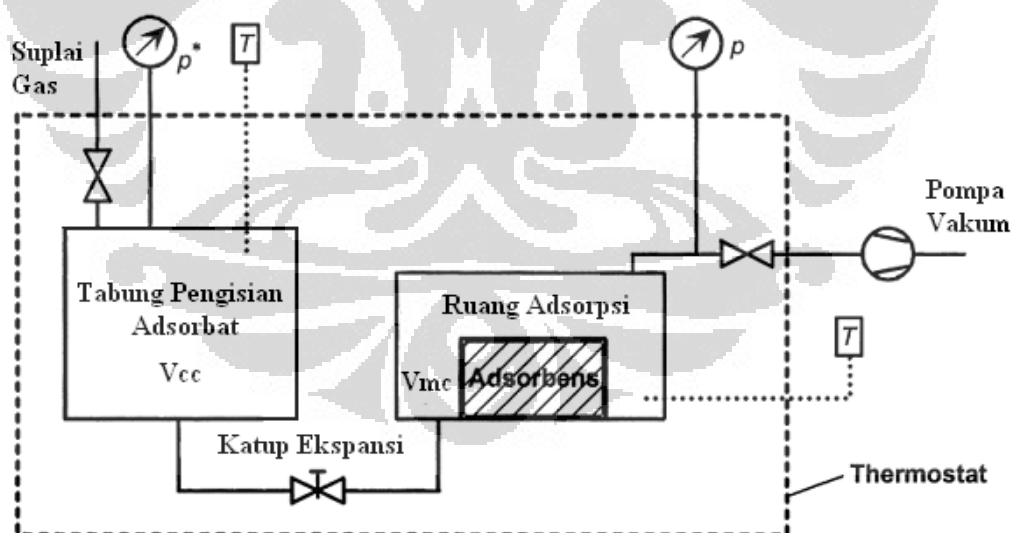
Gambar II.12 Skema Metode Gravimetrik dengan Menggunakan *Magnetic Suspension Balance* (Keller, Jurgen., 2005)

Pada Gambar II.12 terlihat skema metode gravimetrik dengan menggunakan *Magnetic Suspension Balance*, dimana sampel adsorben diletakkan di dalam tabung dan selanjutnya ketika massa adsorben bertambah karena akibat terserapnya adsorbat, maka medan magnet juga akan berubah disebabkan karena adanya perubahan jarak antara *permanent magnet* dengan *electromagnet*.

II.2.2 Metode Volumetrik

Dasar pengukuran metode volumetrik adalah tekanan, volume, dan temperatur. Teknik pengukuran adsorpsi dengan metode volumetrik ini lebih sering digunakan, karena sederhana dan efektif selama alat ukur tekanan dan temperatur dapat memberikan informasi yang dibutuhkan pada proses adsorpsi (Rouquerol, J et al, 1998). Skematik metode volumetrik terlihat pada Gambar 2.13.

Data pengukuran pada metode volumetrik adalah tekanan dan temperatur, dimana data diukur saat adsorbat masuk ke tempat diletakkannya adsorben (adsorption bulb). Setelah keseimbangan adsorpsi terjadi, jumlah adsorbat yang terserap dihitung dari perubahan tekanan yang terjadi.



Gambar II.13 Skema Metode Volumetrik (Keller, Jurgen., 2005)

Peralatan untuk pengukuran adsorpsi equilibrium dengan menggunakan metode volumetrik pada dasarnya terdiri atas *storage vessel* dan *adsorption chamber* yang keduanya dihubungkan dengan menggunakan *tube*. Kedua tabung

tersebut harus ditempatkan dalam sebuah wadah yang dilengkapi dengan *thermostat*, sehingga temperaturnya dapat dijaga konstan dan juga dilengkapi dengan katup sehingga gas atau adsorbat dapat disuplai dan dibuang, selain itu juga dilengkapi dengan termometer dan manometer, sehingga temperatur dan tekanan di dalam *vessel* dapat diukur (Keller, Jurgen., 2005).

Hal yang terpenting dalam pengukuran adsorpsi isothermal menggunakan metode volumetrik adalah, sebagai berikut (Keller, J.U et al, 2002):

1. Volume efektif alat uji harus diketahui.
2. Alat uji harus dapat mengukur temperatur dari gas yang menjadi adsorbat.
3. Keakuratan alat uji untuk mengukur perubahan tekanan pada metode volumetrik adalah hal yang utama.
4. Kesetimbangan adsorpsi terjadi apabila tekanan relatif mencapai $p/p_0 = 1$, maka pengukuran berakhir.
5. Perhitungan adsorbat yang terserap dapat diukur menggunakan persamaan gas ideal.

Kelebihan metode volumetrik adalah dapat mengukur beberapa jenis sampel, dan memiliki *sensitivity* yang tinggi. Biaya pembuatan alat ukur menggunakan metode volumetrik murah dan mudah dibuat karena komponennya ada di pasar dan relatif murah (Keller, J.U et al, 2002).

II.3 ADSORBEN

Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, Bambang, 2004). Adsorben dikelompokkan berdasarkan kemampuannya menyerap jenis zat tertentu, kelompok polar adsorben yaitu kelompok adsorben yang mampu menyerap air sebagai adsorbat dengan baik, kelompok polar adsorben ini biasa disebut sebagai kelompok adsorben *hydrophilic* (menyukai air) seperti silika gel, alumina aktif, dan zeolit. Kelompok lainnya adalah kelompok non-polar adsorben, yaitu kelompok adsorben yang mampu menyerap adsorbat dengan baik selain air, kelompok non-polar adsorben ini biasa juga disebut sebagai kelompok adsorben *hydrophobic* (tidak menyukai air) seperti polimer adsorben dan karbon aktif (Suzuki, M, 1990).

Kemampuan adsorpsi dari adsorben tergantung pada beberapa parameter fisik sebagai berikut (Do, Duong D., 2008):

1. Memiliki luas permukaan atau volume mikropori yang tinggi.
2. Memiliki jaringan pori (mesopori) yang besar sehingga molekul gas atau adsorbat dapat masuk ke bagian dalam adsorben.

Untuk memenuhi kriteria yang pertama adsorben harus memiliki ukuran pori yang kecil. Dengan demikian adsorben yang bagus harus memiliki dua kombinasi ukuran pori, mesopori dan mikropori.

II.3.1 Karbon Aktif

Material karbon aktif adalah salah satu kandidat untuk penyimpanan hidrogen karena memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi, luas permukaan spesifik yang tinggi, mikrostruktur berpori, densitas masa yang rendah dan murah menjadi salah satu penelitain yang sangat menarik.

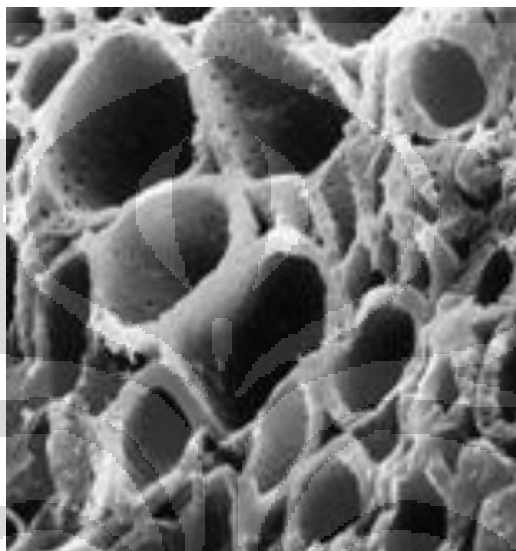
Karbon aktif adalah material yang memiliki lubang (*voids*, ruang, situs dan pori-pori). Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Pada proses tersebut terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Menurut Sontheimer, 1985 pada proses aktivasi terjadi pembentukan pori-pori yang masih tertutup dan peningkatan ukuran serta jumlah pori-pori kecil yang telah terbentuk. Dengan demikian karbon aktif hasil aktivasi memiliki luas permukaan internal yang lebih besar. Karbon hasil aktivasi disebut dengan karbon aktif. Walaupun lubang ini memiliki ruang kerapatan elektron sama dengan nol namun pori-pori ini memiliki gaya van der Waals (dari kedekatan atom karbon. Adapun kemampuan material karbon terhadap penyerapan (adsorpsi) berdasarkan kemampuan molekul yang berdifusi kedalam volume mikropori.

Adapun pembagian ukuran porositas pada material karbon dibagi atas 3 yaitu:

1. Mikroporositas $< 2.0\text{nm}$ yang terdiri dari supermikropori (0.7 – 2 nm) dan ultramikropori dengan diameter kurang dari 0.7 nm.

2. Mesoporositas 2.0 – 50 nm
3. Makroporositas > 50 nm

Pori dengan ukuran besar digunakan untuk transportasi cairan pada karbon, penyerapan terjadi pada pori yang kecil atau sedang. Pori terbentuk selama proses aktivasi, ketika karbon diaktifkan dengan sebuah reaksi kimia yang melibatkan reaktan seperti KOH (potasium hidroksida).



Gambar II.14 Porositas pada karbon

Dua metode yang berbeda akan menghasilkan struktur pori yang berbeda-beda yaitu:

1. Aktivasi kimia, yaitu peningkatan pori atau luas permukaan suatu karbon aktif dengan penyerapan larutan kimia yang kemudian diaktifasi didalam sebuah reaktor inert dimana hanya ada gas nitrogen yang mengalir sehingga
2. Aktivasi dengan uap, adalah peningkatan pori atau luas permukaan dengan pemanasan pada temperatur aktivasi.

Karbon aktif berbentuk granular selalu memiliki pori yang besar, tetapi pada karbon aktif dalam bentuk partikel sering tidak ditemukan pori besar setelah penggilingan. Atom karbon dapat dihilangkan dari karbon berpori dengan gasifikasi menggunakan karbon dioksida atau uap air pada suhu 800- 900 °C seperti pada reaksi dibawah ini:



aktifasi dengan karbon dioksida dan uap menghasilkan karbon dengan karakteristiknya berbeda. Secara singkat, aktifasi termal adalah sebuah proses gasifikasi selektif (pengangkatan) individu atom karbon. Tidak semua atom karbon memiliki reaktifitas yang sama. [4]

Karbon aktif batu bara dan Tempurung Kelapa memiliki struktur kristalin, sehingga memungkinkan material tersebut dapat digunakan sebagai material penyimpan. Fenomena penggilingan mekanika membantu partikel menjadi fasa mikro atau nanokristalin sehingga menyebabkan penurunan energi aktivasi desorpsi [12] (peristiwa pelepasan molekul, ion dan sebagainya dari permukaan zat padat sehingga molekul atau ion itu menjadi gas). Namun tingginya energi aktifasi bergantung pada elemen permukaan.

Dari Melanie Francke et.al (2004) pada Modifikasi karbon struktur nano dengan penggilingan bola dengan energi tinggi pada kondisi argon dan hidrogen, dengan proses penggilingan bola dengan energi tinggi pada grafit mengerahkan kepada struktur kristal nano pada karbon. Struktur dikarakteristik dengan sedikit partikel kristalin yang tertanam dalam sebuah matriks amorf yang menyebabkan luas permukaan tertentu tinggi.

Pada prakteknya, karbon aktif mengandung beberapa elemen yang dikenal dengan heteroatom seperti hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif sehingga perlu perlakuan khusus. Beberapa tipe pada grup oksigen ditemukan dipermukaan karbon, karena elektronegativitas pada atom oksigen, memiliki momen dipol dan dengan hadirnya oksigen ditandai dengan pengaruh pembentukan penyerapan isothermal pada adsorbat polar. Oleh karena itu, sangat penting untuk dilakukan analisa terhadap permukaan karbon aktifasi yang dikenal dengan *surface oxygen complexes* (SOC) /permukaan dengan oksigen kompleks.

Karbon aktif yaitu karbon dengan struktur amorphous atau mikrokristalin yang dengan perlakuan khusus dapat memiliki luas permukaan dalam yang sangat besar antara 300 - 2000 m²/gram. Pada dasarnya ada dua jenis karbon aktif yaitu karbon aktif fasa cair yang dihasilkan dari material dengan berat jenis rendah, seperti misalnya karbon sekam padi dengan bentuk butiran rapuh dan mudah hancur, mempunyai kadar abu yang tinggi berupa silika dan biasanya digunakan

untuk menghilangkan bau, rasa, warna dan kontaminan organik lainnya, sedangkan karbon aktif fasa gas dihasilkan dari bahan dengan berat jenis tinggi.

II.4 PEMBUATAN LIKUIDA LIGNOSELULOSA

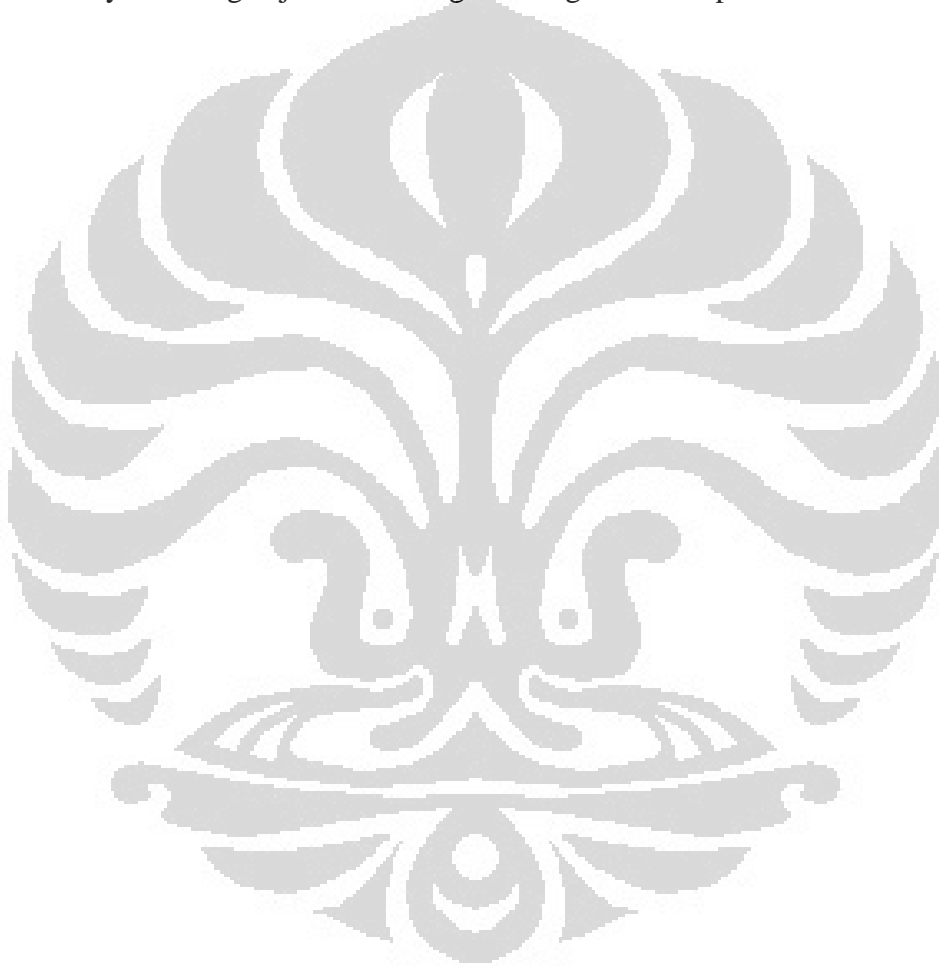
Menurut Risnasari, I., Rohendi, S., 2006, pembuatan likuida lignoselulosa menggunakan bahan baku berupa partikel kayu berukuran 40 mesh yang memiliki kandungan zat ekstraktif berbeda dari jenis kayu jati, keruing dan agatis. Bahan lainnya adalah larutan fenol teknis, formalin, NaOH 40%, H₂SO₄ 98% dan aquades. Proses pembuatan likuida kayu dimulai dengan persiapan bahan baku berupa partikel kayu berukuran 40 mesh dan penentuan kadar air setiap jenisnya. Partikel kayu tersebut siap digunakan setelah kadar airnya mencapai $\pm 5\%$. Selain itu juga ditentukan kadar ekstraktif masing-masing jenis dengan menggunakan metode kelarutan dalam air dingin. Partikel kayu berukuran 40 mesh dengan kadar air $\pm 5\%$ dari masing-masing jenis disiapkan untuk dimodifikasi dengan cara mencampurkan partikel kayu dengan larutan fenol teknis dengan perbandingan 1 : 5 berdasarkan berat. Kemudian dilakukan penambahan H₂SO₄ 98% sebanyak 5% dari jumlah larutan fenol. Campuran diaduk hingga merata dan dipanaskan pada suhu 100⁰C selama ± 30 menit atau sampai larutan menjadi homogen. Larutan yang sudah homogen tersebut didinginkan dan siap digunakan sebagai likuida kayu. Perikat utama hasil liquifikasi dicampur dengan NaOH 40% sampai pH-nya menjadi 11, kemudian ditambahkan formalin pada molar rasio F/P : 2.1. Selanjutnya perikat yang telah jadi siap diaplikasikan pada produk.

II.5 PEMBUATAN PADATAN NANO KARBON AKTIF DENGAN ZAT PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA

Penelitian tentang pembuatan padatan karbon aktif dengan bahan dasar mikro kristal anhidrous selulosa [18] menunjukkan hasil yang mengembirakan dimana bisa menghasilkan luas permukaan karbon aktif hingga 2340m²/gram beratnya. Dengan demikian tantangan yang selama ini dihadapi saat penggunaan pengikat sintetis yang menutup pori dari karbon aktif akan dapat

diatasi dengan penggunaan likuida lignoselulosa sebagai pengikatnya, dimana proses aktivasi fisika dilakukan setelah nano karbon aktif berbentuk padatan.

Untuk membentuk padatan sesuai dengan tingkat kerapatan yang diinginkan, proses penekanan mekanis dilakukan dengan cara menempatkan partikel nano karbon aktif pada sebuah silinder kemudian ditekan dari atas dengan tenaga hidrolis. Dengan membentuk partikel nano karbon aktif menjadi bentuk padatan maka dengan ukuran tangki yang sama akan mampu menampung lebih banyak hidrogen jika dibandingkan dengan bentuk partikel.

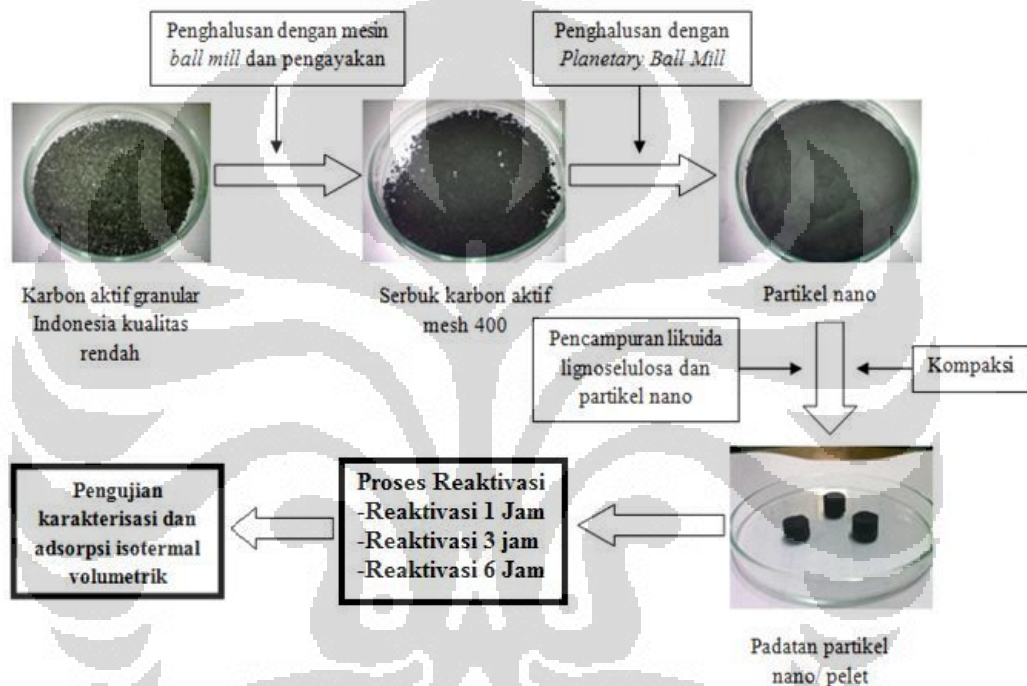


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 DIAGRAM ALIR

Penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu produksi padatan partikel nano karbon aktif dan pengujian adsorpsi terhadap padatan tersebut seperti dicantumkan dalam diagram alir di bawah ini.



Gambar III.1 Diagram alir Penelitian

III.2 PENGHALUSAN KARBON AKTIF GRANULAR

Sampel dasar dari pengujian ini berupa karbon aktif granular berbahan dasar batu bara Indonesia kualitas rendah. Untuk pembentukan struktur nano pada sampel terlebih dahulu dilakukan penghalusan pada karbon aktif berbentuk granular dengan menggunakan mesin *ball mill* dan setelah itu dilakukan pengayakan dengan menggunakan saringan yang memiliki mesh 400. Penghalusan dengan mesin ini dilakukan selama 24 jam. Berikut merupakan langkah penghalusan karbon aktif granular.

1. Siapkan bahan karbon aktif granular sebanyak 200 gram.

2. Bersihkan bejana sampel dan bola-bola baja sebagai alat penghalus.
3. Masukkan karbon aktif granular dan bola-bola baja ke dalam bejana sampel.
4. Letakkan bejana sampel tersebut pada *Ball Mill Machine* dengan mengencangkan batang pengikatnya.
5. Hidupkan mesin dan biarkan beroperasi selama 24 jam.
6. Hasil dari proses ini kemudian karbon aktif diayak secara manual dengan saringan mesh 400.

III.3 PEMBUATAN PERTIKEL NANO KARBON AKTIF

Setelah proses penghalusan pada karbon aktif granular dan telah diayak pada mesh 400 maka dilakukan penghalusan lagi dengan menggunakan mesin *Planetary Ball Mill* (PBM) untuk menghasilkan partikel nano karbon aktif. Penghalusan dengan mesin ini dilakukan selama 30 jam. Berikut merupakan proses penghalusan serbuk karbon aktif dengan menggunakan mesin *Planetary Ball Mill*.

1. Timbang serbuk sampel karbon aktif mesh 400 sebanyak 25 gram.
2. Tentukan jumlah bola baja yang diperlukan untuk perbandingan berat karbon aktif terhadap bola baja yakni 1:5, untuk 1 bola baja dengan berat 4 gram maka untuk 25 gram karbon aktif memerlukan ± 31 bola baja.
3. Masukkan 25 gram serbuk karbon aktif dan 31 bola baja ke dalam wadah sampel.
4. Tempatkan wadah sampel tersebut ke dalam mesin PBM.
5. Setting putaran mesin PBM pada 200 rpm.
6. Operasikan mesin selama 30 jam.



Gambar III.2 Alat *Planetary Ball Mill*

III.4 PEMBUATAN PADATAN NANO KARBON AKTIF (PELLET)

Pada pembuatan padatan nano karbon aktif (pellet) menggunakan material pengikat berupa likuida lignoselulosa. Material serbuk karbon aktif yang telah terbentuk nano partikel melalui proses penghalusan dengan mesin *Planetary Ball Mill* (PBM) dicampur dengan pengikat berupa likuida lignoselulosa. Kemudian hasil pencampuran ini dikompaksi hingga terbentuk padatan karbon aktif (pellet). Berikut merupakan proses pembuatan pengikat likuida lignoselulosa dan proses pembentukan padatan nano karbon aktif (pellet).

III.4.1 Pembuatan Likuida Lignoselulosa

Pembuatan likuida ini menggunakan bahan baku berupa partikel kayu jati berukuran 40 mesh. Penggunaan partikel kayu jati dipilih karena merupakan salah satu jenis bahan perekat likuida kayu yang memenuhi standar yang dipersyaratkan oleh SNI 06-0121-1987 untuk perekat fenol formaldehida (Risnasari,I,2006). Bahan lainnya adalah larutan fenol teknis, formalin, H₂SO₄ 98% dan aquades.

Proses pembuatan likuida kayu dimulai dengan persiapan bahan baku berupa partikel kayu jati berukuran 40 mesh dan penentuan kadar air nya, Partikel

kayu tersebut siap digunakan setelah kadar airnya mencapai $\pm 5\%$. Partikel kayu berukuran 40 mesh dengan kadar air $\pm 5\%$ disiapkan untuk dimodifikasi dengan cara mencampurkan partikel kayu dengan larutan fenol teknis dengan perbandingan 1 : 5 berdasarkan berat. Kemudian dilakukan penambahan H_2SO_4 98% sebanyak 5% dari jumlah larutan fenol. Campuran diaduk hingga merata dan dipanaskan pada suhu $100^{\circ}C$ selama ± 30 menit atau sampai larutan menjadi homogen. Larutan yang sudah homogen tersebut didinginkan dan siap digunakan sebagai likuida kayu. sebagai pengikat pada padatan nano karbon aktif.

Tabel III.1 Unsur Pembuat Likuida Lignoselulosa

NO	UNSUR	JUMLAH (%)
1.	SERBUK KAYU JATI	15.2
2.	AIR	0.8
3.	LARUTAN FENOL	80
4.	H_2SO_4 98%	4

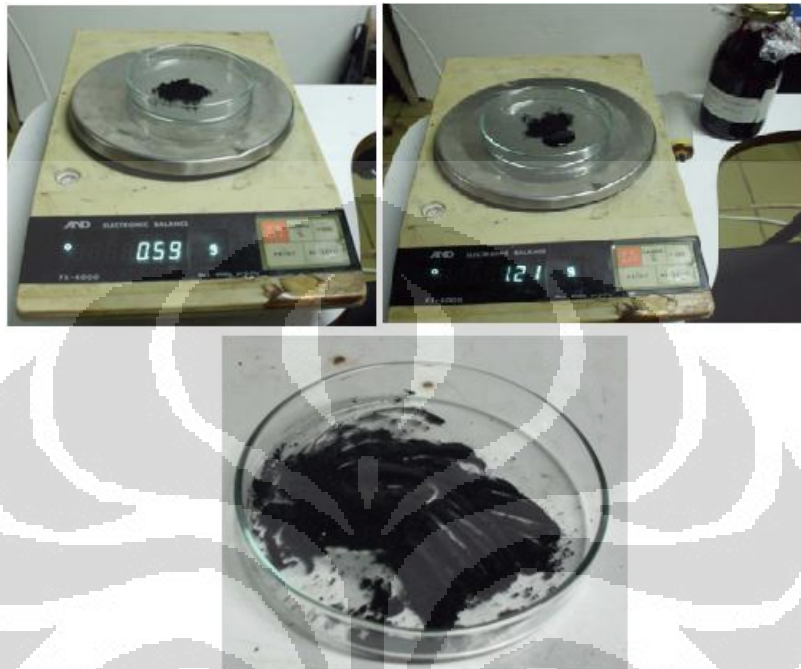
III.4.2 Pencampuran Partikel Partikel Nano Karbon Aktif dengan Likuida Lignoselulosa

Perbandingan antara likuida lignoselulosa sebagai pengikat dan partikel partikel nano karbon aktif diberikan berdasarkan persen berat. Untuk pencampuran coba dilakukan dengan dua cara yaitu:

- a. Likuida langsung dicampur dengan partikel partikel nano karbon aktif.

Dengan cara ini perbandingan campuran antara likuida lignoselulosa dengan partikel partikel nano karbon aktif adalah 1:4, 2:4, 3:4 dan 4:4. Hasil yang didapatkan pada pencampuran likuida lignoselulosa dengan partikel partikel nano karbon aktif dengan perbandingan 1:4 sampai 2:4 adalah bahwa tidak terbentuk campuran yang homogen antara likuida lignoselulosa dengan partikel partikel nano karbon aktif. Dimana masih ada sebagian karbon aktif yang masih berbentuk partikel. Untuk pencampuran dengan perbandingan 3:4 campuran baru bisa homogen setelah dilakukan pengadukan manual dengan tangan, sementara itu jika hanya diaduk dengan menggunakan spatula tidak terbentuk campuran yang homogen antara likuida lignoselulosa dengan partikel partikel nano karbon aktif.

Pada pencampuran dengan perbandingan 4:4 , langsung terbentuk campuran yang homogen antara likuida lignoselulosa dengan partikel partikel nano karbon aktif hanya dengan mengaduk menggunakan spatula.



Gambar III.3 Pencampuran Likuida lignoselulosa dengan powder nano karbon aktif secara langsung.

Tabel III.2 Campuran Likuida Lignoselulosa dengan Serbuk Karbon Aktif

PERBANDINGAN	TERBENTUK CAMPURAN HOMOGEN	TIDAK TERBENTUK CAMPURAN HOMOGEN
1 : 4		√
2 : 4		√
3 : 4	√	
4 : 4	√	

b. Likuida diencerkan dengan aquades.

Dengan cara ini likuida lignoselulosa diencerkan terlebih dahulu dengan aquades. Perbandingan campuran antara likuida dan aquades adalah 1:1 dan 1:2.

Kemudian hasil pengenceran tersebut dicampur dengan partikel partikel nano karbon aktif dengan perbandingan 1: 4, 2:4, 3:4, dan 4:4

Pada pencampuran antara pengenceran likuida dengan aquades ditambah dengan powder nano karbon aktif didapat hasil relative sama dengan pencampuran langsung antara likuida lignoselulosa langsung ditambah powder nano karbon aktif. Yang membedakan hanya pada hasil proses pencetakannya. Hasilnya relative lebih lunak dibandingkan dengan pencampuran tanpa aquades.



Gambar III.4 Pencampuran pengenceran Likuida lignoselulosa dengan powder nano karbon aktif.

III.4.3 Pencetakan Campuran Likuida Lignoselulosa dan Partikel Nano Karbon Aktif

Pencetakan atau proses kompaksi dilakukan dengan menggunakan alat cetak untuk mendapatkan padatan partikel nano karbon aktif yang bisa disebut juga sebagai pellet. Alat untuk mencetak padatan karbon aktif terbuat dari baja St.60 seperti ditunjukkan gambar di bawah ini. Pencampuran antara likuida lignoselulosa dan partikel partikel nano karbon aktif yang telah dilakukan dengan berbagai variasi perbandingan di atas, dimasukkan kedalam cetakan, kemudian ditekan atau dipress pada mesin hidrolis dengan tekanan sebesar 20 kg/cm^2 .



Gambar III.5 Alat Cetak

Kemudian hasil cetakan tersebut dikeluarkan dari cetakan dengan cara membuka lebih dahulu skrup-skrup landasan di bawahnya.

III.5 PROSES AKTIVASI KEMBALI (REAKTIVASI) PADATAN KARBON AKTIF

Setelah terbentuk padatan nano karbon aktif selanjutnya dilakukan proses reaktivasi sebelum pengujian. Proses ini merupakan proses aktivasi secara fisika yang diperlakukan kembali pada karbon aktif yang sebelumnya sudah mengalami proses aktivasi. Pada pengujian ini diberlakukan tiga jenis reaktivasi secara fisika untuk diketahui perbedaan karakteristiknya dalam hal adsorpsi terhadap gas hidrogen (H_2). Proses reaktivasi ini dilakukan dengan tahapan kerja sebagai berikut.

1. Persiapan alat aktivasi yakni tube furnace, gas nitrogen dan flow control untuk gas.
2. Masukkan pellet karbon aktif ke dalam tabung berbahan stainless steel.
3. Tabung dijepit pada reactor furnace.
4. Selama proses aktivasi dialirkan gas nitrogen ke dalam tabung sebanyak 300 cc/mnt sambil dilakukan pemanasan mulai dari suhu 200, 400, 600, dan 700⁰C.
5. Setelah suhu mencapai 700⁰C maka dibiarkan selama \pm 1 jam.
6. Lakukan proses nomor 1 s/d 4 untuk aktivasi 3 jam dan 6 jam.



Gambar III.6 Alat Aktivasi Fisika

III.6 PENGUJIAN ADSORPSI VOLUMETRIK

Alat uji adsorpsi isothermal pada prinsipnya terdiri atas dua buah silinder yaitu silinder pengisian (charging cell) dan silinder pengukuran (measuring cell) dengan volume masing-masing adalah 1170 ml dan 88,75 ml yang terbuat dari stainless steel 304 (SS 304). Kedua tabung tersebut dihubungkan dengan tube stainless steel dimana keduanya terendam dalam fluida yang temperaturnya di kontrol oleh circulating thermal bath merk HUBER dengan akurasi $0,1^{\circ}\text{C}$.

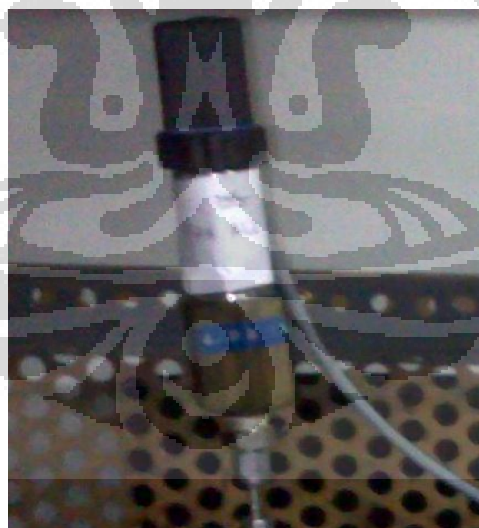


Gambar III.7 Alat Uji Adsorpsi



Gambar III.8 Circulating Thermal Bath

Tekanan pada kedua silinder diukur dengan menggunakan pressure transmitter dengan kisaran pengukuran 0-40 bar gauge (merk WIKA) dengan akurasi 0,25%. Thermocouple kelas A tipe K digunakan untuk mengukur temperatur adsorbat (gas hidrogen) dan adsorben (karbon aktif). Data tekanan dan temperatur direkam melalui data akuisisi dari National Instrument.



Gambar III.9 Pressure Transmitter (WIK A)



Gambar III.10 Modul Nasional Instrument

Setelah karbon aktif dimasukkan kedalam measuring cell dan antara measuring cell dan charging cell telah terhubung maka proses awal pengujian adalah proses degassing. Proses degassing dimaksudkan untuk mengeluarkan seluruh unsur atau zat pengotor (impurity) yang kemungkinan teradsorpsi oleh karbon aktif selama penyimpanan. Proses degassing berlangsung sampai dengan 8 jam dimana system di vakum dengan pompa vakum satu tingkat ARUKI sampai dengan tekanan mendekati 1 mbar dan selama proses tersebut measuring cell dililiti dengan pemanas (heater) untuk menjaga temperatur karbon aktif pada kisaran 130–140°C. Gas Helium (He) dimasukkan ke dalam system pada tekanan sampai dengan 7 bar untuk meningkatkan proses pengeluaran zat pengotor pada karbon aktif.

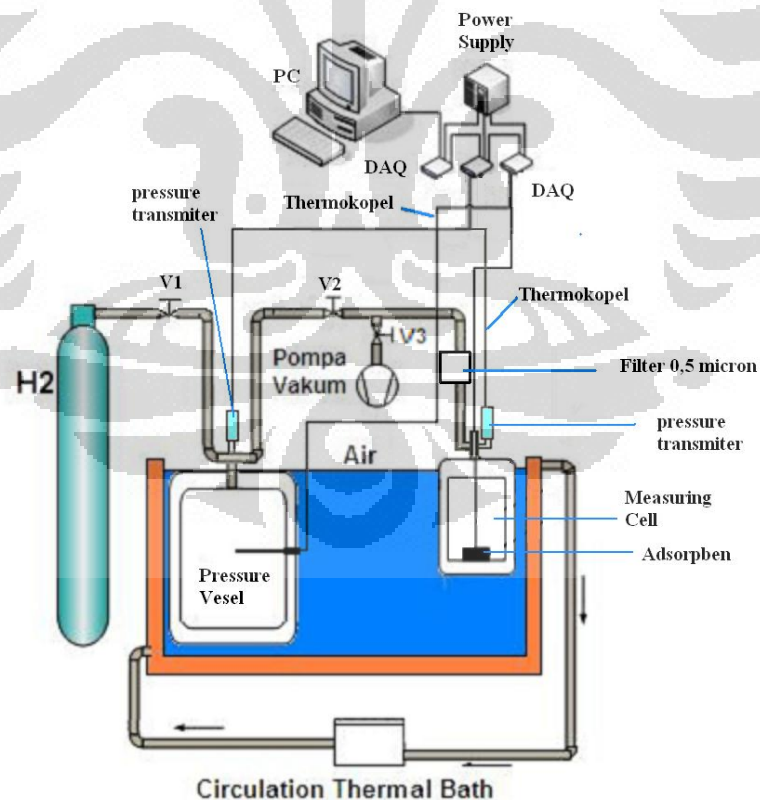


Gambar III.11 Pompa Vakum (ARUKI)



Gambar III.12 Pemanas (Heater)

Setelah proses degassing, charging cell dan measuring cell direndam dengan air yang disirkulasikan oleh Circulating Thermal Bath HUBER dengan akurasi $0,1^{\circ}\text{C}$ untuk menjaga agar temperatur pada system konstan pada temperatur tertentu.



Gambar III.13 Skema Alat Uji adsorpsi Isothermal

Setelah temperatur pada system konstan (isothermal), gas hydrogen (H_2) dimasukan kedalam charging cell dimana sebelumnya katup yang menghubungkan antara charging cell dan measuring cell ditutup. Setelah temperatur pada charging cell kembali ke temperatur isothermal katup penghubung tersebut dibuka, proses ini adalah proses awal adsorpsi isothermal. Gas H_2 kembali diisikan pada tekanan berikutnya kedalam charging cell setelah temperatur pada charging cell kembali pada temperatur semula. Proses tersebut berlangsung sampai dengan tekanan pengisian 40 bar. Proses diatas dilakukan kembali untuk tiap temperatur isothermal yang berbeda.

III.6.1 Pengukuran Volume *Charging Cell* dan Volume Kosong *Measuring Cell*

Volume merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pengukuran adsorpsi volumetrik. Ketidakpastian kalibrasi volume gas, pengukuran tekanan, dan kebocoran merupakan sumber kesalahan dari pengukuran metode volumetrik, yang mungkin mengakibatkan data adsorpsi tidak realistis (Belmabkhout, et. al, 2004).

III.6.1.1 Pengukuran Volume *Charging Cell*

Pengukuran volume *charging cell* dilakukan dengan cara menimbang massa kosong dan massa *charging cell* yang diisi dengan air, maka akan diperoleh massa air yang mengisi *charging cell*.

$$m_{air} = m_{PV+air} - m_{PV} \quad (3.1)$$

Setelah massa air yang mengisi *charging cell* diketahui maka akan didapat volume dari *charging cell*, dengan menggunakan persamaan:

$$V_{PV} = \frac{m_{air}}{\rho_{air(T,P)}} \quad (3.2)$$

dengan : m_{air} : massa air (kg)

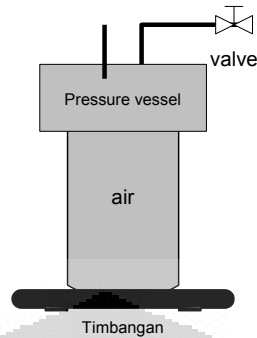
m_{PV+air} : massa *charging cell* yang berisi air (kg)

m_{PV} : massa *charging cell* kosong (kg)

V_{PV} : volume *charging cell* (m^3)

$\rho_{air(T,P)}$: massa jenis air pada tekanan dan temperatur saat

pengukuran



Gambar III.14 Skema Proses Pengukuran Volume *Charging Cell*

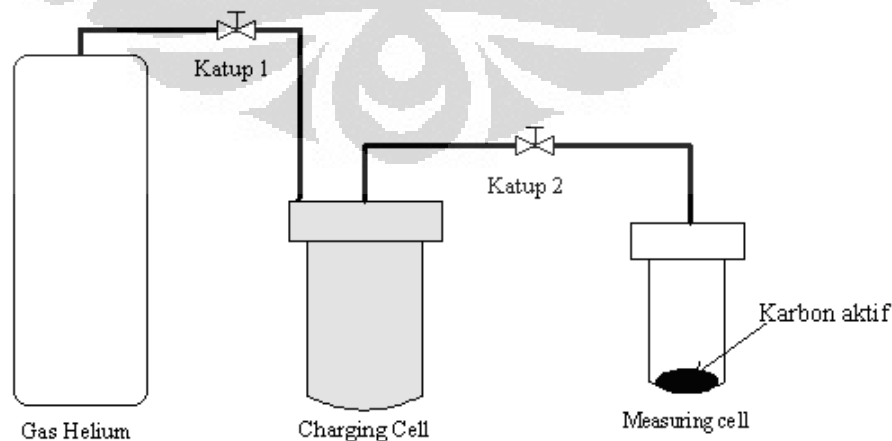
III.6.1.2 Pengukuran Volume Kosong *Measuring Cell*

Pengukuran volume kosong pada *measuring cell* dilakukan untuk mendapatkan volume pada *measuring cell*, hal tersebut dilakukan dikarenakan *measuring cell* diisi dengan karbon aktif yang juga memiliki volume pori. Volume kosong dari *measuring cell* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *measuring cell*.

$$V_{kosong} = V_{MC} - V_{ruang\ yang\ terisi\ adsorben} + V_{pori-pori\ adsorben} \quad (3.3)$$

dengan V_{kosong} : volume *measuring cell* yang berisi adsorben (m^3)

V_{MC} : volume *measuring cell* kosong (m^3)



Gambar III.15 Skema Proses Pengukuran Volume Kosong *Measuring Cell*

Prosedur pengukuran volume kosong pada *measuring cell* adalah sebagai berikut:

- a. Temperatur di dalam *charging cell* dan *measuring cell* dikondisikan pada temperatur 30°C dengan menggunakan *circulating thermal bath*.
- b. Gas helium dimasukkan ke dalam *charging cell* dengan cara membuka katup 1. Katup ditutup kembali saat tekanan pada *charging cell* telah mencapai tekanan yang diinginkan.

Tekanan awal *charging cell* (P_{cci}) dicatat, dengan data tersebut akan diperoleh jumlah mol He yang terdapat pada *charging cell* berdasarkan persamaan:

$$n = \frac{P_{cci} \cdot V_{cc}}{Z_{He} \cdot R \cdot T} \quad (3.4)$$

Dimana n adalah jumlah mol helium pada *charging cell* dan pada prosedur ini $V_{charging\ cell} = V_{He}$

- c. Dengan membuka katup 2 maka gas He masuk ke dalam *measuring cell*, kemudian tekanan akhir pada *charging cell* (P_{ccf}) dicatat. Dengan data ini, maka akan diketahui jumlah mol (n_i) He yang masuk ke dalam *measuring cell*, dengan persamaan:

$$n_i = \left(\frac{P_{cci}}{Z_{He, P_{cci}} \cdot R \cdot T} - \frac{P_{ccf}}{Z_{He, P_{ccf}} \cdot R \cdot T} \right) V_{cc} \quad (3.5)$$

- d. Setelah tercapai kondisi equilibrium, dimana tekanan pada *charging cell* dan *measuring cell* konstan, kira-kira selama 15 menit, tekanan akhir *measuring cell* (P_{mcf}) dicatat. Sehingga dengan menggunakan persamaan 3.11 diketahui volume kosong *measuring cell*:

$$V_{void} = \frac{n_i \cdot Z_{He, P_{mcf}} \cdot R \cdot T}{P_{mcf}} \quad (3.6)$$

- e. Prosedur ini dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan volume kosong *measuring cell*.

III.7 PERSIAPAN PENGUJIAN

Sebelum dilakukan pengujian adsorpsi isotermaal, berat kering adsorben atau karbon aktif harus diketahui terlebih dahulu. Berikut adalah prosedur untuk mendapatkan berat kering karbon aktif (Awaludin, 2010).

1. Karbon aktif dimasukkan kedalam *measuring cell* ± 5 g, kemudian ditimbang kembali bersama dengan *measuring cell* nya.
2. Karbon aktif yang telah dimasukkan ke dalam *measuring cell* kemudian dipanaskan dengan cara dililiti heater sampai pada temperatur 170°C .
3. Setelah ± 60 menit lilitan *heater* pada *measuring cell* dilepas, kemudian *measuring cell* kembali ditimbang.
4. Selisih antara berat *measuring cell* sebelum dipanaskan dengan berat *measuring cell* setelah dipanaskan adalah massa air atau zat lainnya yang terserap pada karbon aktif selama masa penyimpanan dan menguap pada proses nomor 2 di atas.
5. Massa kering karbon aktif adalah massa karbon aktif awal (± 5 g) dikurangi dengan selisih massa *measuring cell* seperti pada proses nomor 4 di atas.

III.8 PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian adsorpsi isotermaal dilakukan di laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sehingga kondisi lingkungan adalah kondisi lingkungan pada ruang laboratorium tersebut. Prosedur penelitian adsorpsi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Karbon aktif dimasukkan ke dalam *measuring cell* dan antara *measuring cell* dan *charging cell* dihubungkan dengan sistem *tubing*.
2. Proses awal pengujian adalah proses *degassing*. Proses *degassing* dimaksudkan untuk mengeluarkan seluruh unsur atau zat pengotor (impurity) yang kemungkinan terserap oleh karbon aktif selama penyimpanan. Proses *degassing* berlangsung sampai dengan 8 jam dan selama proses sistem divakum dengan pompa vakum satu tingkat sampai dengan tekanan mendekati $0,01$ mbar. Selama proses tersebut

measuring cell dipanaskan dengan cara dililiti pemanas (heater) untuk menjaga temperatur karbon aktif pada kisaran 130 – 140°C.

3. Gas helium (He) dimasukkan ke dalam sistem beberapa kali pada tekanan sampai dengan 7 bar untuk meningkatkan proses pengeluaran zat pengotor pada karbon aktif.
4. Setelah proses *degassing* selesai, *charging cell* dan *measuring cell* direndam dengan air yang disirkulasikan oleh *circulating thermal bath* untuk menjaga agar temperatur pada sistem terjaga konstan pada temperatur tertentu yang diinginkan.
5. Setelah temperatur pada sistem konstan (isotermal), gas H₂ dimasukan ke dalam *charging cell*, dimana sebelumnya katup yang menghubungkan antara *charging cell* dan *measuring cell* ditutup.
6. Setelah temperatur pada *charging cell* kembali ke temperatur isotermal, katup penghubung tersebut dibuka dan proses ini adalah proses awal adsorpsi isotermal.
7. Gas H₂ kembali dimasukkan pada tekanan berikutnya ke dalam *charging cell* setelah temperatur pada *charging cell* kembali pada temperatur semula. Proses tersebut berlangsung sampai dengan tekanan pengisian 4 MPa. Proses tersebut di atas dilakukan kembali untuk temperatur isotermal yang berbeda.

III.9 ERROR ANALISIS PADA ADSORPSI ISOTERMAL

Perhitungan jumlah adsorbat yang diserap oleh adsorben berdasar pada pengukuran temperatur, tekanan, massa sampel, volume *charging cell* (V_{cc}), dan volume kosong pada *measuring cell* (V_{vv}). Konsekuensi dari metode volumetrik yang digunakan pada perhitungan jumlah massa adsorbat yang terserap adalah dibutuhkannya *error* analisis pada tiap parameter tersebut di atas.

III.9.1 Errors pada Volume *Charging Cell* (V_{cc}) dan Volume Kosong pada *Measuring Cell* (V_{vv})

Volume *charging cell* (V_{cc}) diukur dengan mengisi air dan menimbang

selisih berat *charging cell* (V_{cc}) sebelum dan setelah diisi air, dengan akurasi timbangan yang digunakan 1 g. Pengukuran volume *charging cell* (V_{cc}) yang telah dilakukan adalah $1170 \pm 0,66$ ml atau dengan nilai ketidakpastian 0,058%.

Volume kosong pada *measuring cell* (V_{vv}) dihitung dengan menggunakan gas helium yang dimasukkan ke dalam *measuring cell*. Volume kosong pada *measuring cell* (V_{vv}), nilainya berbeda untuk tiap jenis karbon aktif yang digunakan dengan nilai ketidakpastian 0,28% yang tertera pada table berikut.

Tabel III.3 Nilai Volume kosong pada *measuring cell* (V_{vv})

Sampel	Volume Void rata2	
	-5°C	35°C
Granular	m = 4,22 g	m = 4,67 g
	V = 86,853 cm ³	V = 87,397 cm ³
1 Jam	m = 2,36 g	m = 3,1 g
	V = 87,394 cm ³	V = 88,017 cm ³
3 jam	m = 1,4 g	m = 1,4 g
	V = 87,900 cm ³	V = 87,900 cm ³
6 Jam	m = 2,18	m = 3,17
	V = 86,853 cm ³	V = 87,465 cm ³

III.9.2 Error pada Pengukuran Temperatur

Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan *thermocouple* type K kelas I dengan akurasi 0,15 K.

III.9.3 Error pada Pengukuran Tekanan

Pengukuran tekanan dilakukan dengan menggunakan *pressure transmitter* dengan rentang pengukuran 0 – 40 bar absolut dengan akurasi 0,25%, sehingga *error* maksimum pada pengukuran tekanan adalah 100×10^{-3} bar.

III.9.4 Error pada Pengukuran Massa Sampel

Pada pengukuran berat sampel karbon aktif digunakan timbangan dengan akurasi 0,01 g, berat karbon aktif yang digunakan pada penelitian ini maksimum adalah 5 g sehingga *error* pada pengukuran berat sampel adalah 2×10^{-5} %.

III.10 PERHITUNGAN MASSA ADSORBAT YANG DISERAP

Pengujian adsorpsi isotermal dilakukan dengan menggunakan metode volumetrik, skema keseimbangan massa adsorpsi isotermal terlihat pada Gambar

3.16. Dasar pengukuran metode volumetrik adalah tekanan, volume dan temperatur, dimana data diukur saat adsorbat masuk ke tempat diletakkannya adsorben (adsorption bulb). Setelah keseimbangan adsorpsi terjadi, jumlah adsorbat yang terserap dihitung dari perubahan tekanan yang terjadi dengan menggunakan persamaan gas ideal.

Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *charging cell* dan *measuring cell* dapat diasumsikan sebagai berikut (Belal, Dawoud, et al., 2003):

$$m_{d,mc} = |m_{cc}| - m_{ads} \quad (3.7)$$

dengan: $dm_{d,mc}$ = massa adsorbat di *measuring cell* (kg)

$|m_{cc}|$ = massa adsorbat di *charging cell* (kg)

m_{ads} = massa adsorbat yang diserap oleh adsorben (kg)

Selama proses dari mulai *charging cell* sampai pada *measuring cell* adsorbat tidak bersifat ideal sehingga dibutuhkan parameter Z , dimana Z adalah faktor kompresibilitas, sehingga:

$$|m_{cc}| = \Delta m_{cc} = m_{cc}(t) - m_{vcc}(t + \Delta t) = \frac{(p_{cc}(t) - p_{cc}(t + \Delta t)) \cdot V_{cc}}{Z \cdot R_{cc} \cdot T_{cc}} \quad (3.8)$$

$$dm_{d,mc} = m_{d,mc}(t + \Delta t) - m_{d,mc}(t) = \frac{(p_{mc}(t + \Delta t) - p_{mc}(t)) \cdot V_{mc}}{Z \cdot R_{mc} \cdot T_{mc}} \quad (3.9)$$

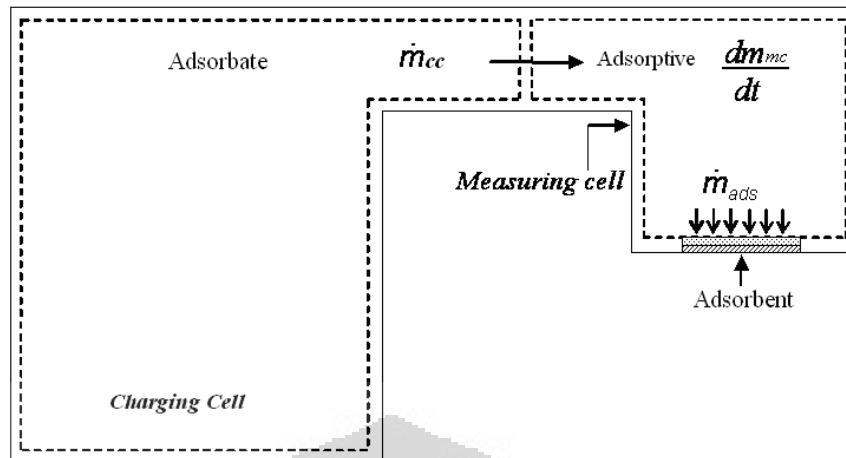
Dengan mensubstitusikan persamaan (2) dan (3) ke dalam pers (1), maka didapat:

$$m_{ads} = \Delta m_{ads}(t) = \frac{(p_{cc}(t) - p_{cc}(t + \Delta t)) \cdot V_{cc}}{Z \cdot R_{cc} \cdot T_{cc}} - \frac{(p_{mc}(t + \Delta t) - p_{mc}(t)) \cdot V_{mc}}{Z \cdot R_{mc} \cdot T_{mc}} \quad (3.10)$$

Atau

$$m_{ads} = \rho_{cc}(p, T) \cdot V_{cc} - \rho_{mc}(p, T) \cdot V_{mc} \quad (3.11)$$

Dimana ρ_{cc} dan ρ_{mc} adalah massa jenis adsorbat pada tekanan dan temperatur di *charging cell* dan *measuring cell*. Besaran ρ_{cc} dan ρ_{mc} didapat dengan menggunakan *software* REFPROP Versi 8.



Gambar III.16 Skema Keseimbangan Massa pada Proses Penyerapan

III.11 PENGUJIAN PROPERTIES DARI SAMPEL PADATAN NANO PARTIKEL KARBON AKTIF DENGAN PENGIKAT LIKUIDA LIGNOSELULOSA

III.11.1 Luas Permukaan

Luas permukaan karbon aktif atau adsorben lainnya biasanya didapat dengan menggunakan konsep adsorpsi isothermal B.E.T., di mana adsorbat yang digunakan adalah nitrogen cair. Luas permukaan diperoleh dengan menghitung luas permukaan molekul nitrogen yang terserap pada karbon aktif atau adsorben[27].

III.11.2 Uji Energy Dispersive X-Ray Analisis untuk mendapatkan komposisi penyusun dari padatan karbon aktif

Analisis EDAX atau EDS dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan, sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terdapat dalam bahan tersebut. Analisis menggunakan EDAX atau EDS dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-x karakteristik yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 HASIL UJI KARAKTERISTIK KARBON AKTIF

IV.1.1 Uji Komposisi

Dari hasil uji komposisi didapatkan persentase kandungan unsur-unsur dalam karbon aktif seperti tertera dalam table berikut.

Tabel IV.1 Hasil Uji Komposisi

UNSUR	AC - GR	AC – RA 1	AC – RA 3	AC – RA 6
	% ELEMEN	% ELEMEN	% ELEMEN	% ELEMEN
C	9	46.93	48.43	46.85
O	51.43	26.63	25.87	29.83
Mg	0.3			
Al	14.3	9.12	8.75	7.57
Si	11.86	10.39	11.39	12.3
P	1.57			
S	1.02	2.75	2.57	1.86
Ca	2.25	1.68	1.17	1.6
Mn	3.03			
Fe	5.24	2.49	1.82	

Pada hasil uji komposisi terlihat adanya penambahan unsur karbon (C) pada karbon aktif jenis pelet. Selain itu juga terlihat adanya penghilangan unsur Mg, P, dan Mn pada karbon aktif jenis pelet. Dengan menghilangnya unsur tersebut yang dianggap bisa menghambat penyerapan gas hidrogen, bisa meningkatkan besarnya penyerapan pada gas hidrogen tersebut. Sedangkan unsur-unsur yang lain yang dianggap dapat menghambat penyerapan juga mengalami penurunan kecuali unsur Si (meningkat pada jenis pelet 6 jam) dan unsur S (meningkat pada jenis pelet).

IV.1.2 Uji BET

Berdasarkan hasil uji luas permukaan dan uji penyerapan dengan angka iodin maka didapatkan data sebagai berikut.

Tabel IV.2 Hasil Uji BET

SAMPEL	BET Surface Area (m²/g)
Granular	729.994
Pelet 1 Jam	331.921
Pelet 3 Jam	390.113
Pelet 6 Jam	319.942

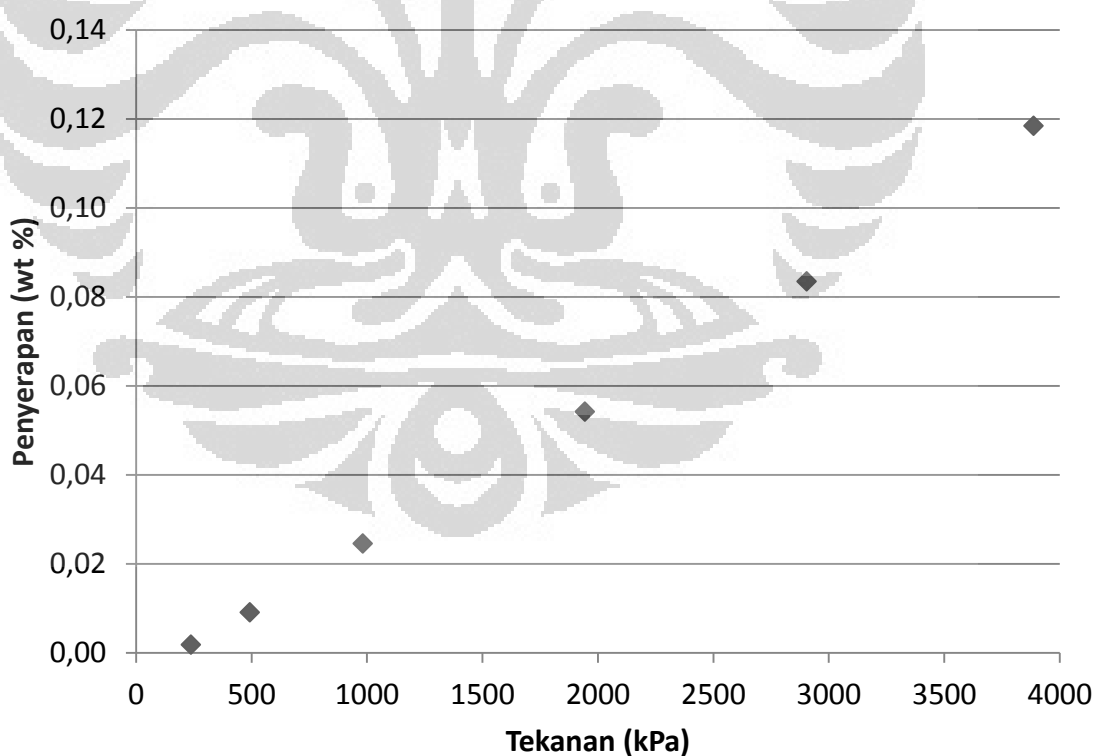
Pada table di atas terlihat bahwa luas permukaan pada karbon aktif jenis pelet mengalami penurunan dengan nilai terendah pada karbon aktif jenis pelet 6 jam. Nilai luas permukaan tertinggi dimiliki oleh karbon aktif jenis granular. Pada jenis pelet nilai luas permukaan tertinggi dimiliki oleh jenis pelet 3 jam. Luas permukaan merupakan salah satu parameter yang menentukan besarnya penyerapan pada karbon aktif namun berdasarkan jurnal yang diterbitkan oleh N.J. Welham (Increased chemisorption onto activated carbon after ball-milling) menyatakan bahwa untuk jenis karbon aktif yang diberikan proses ball mill akan terjadi penurunan luas permukaan seiring dengan bertambahnya waktu pada proses ball mill sehingga semakin lama proses ball mill didapatkan semakin kecil hasil uji BET nya. Kesimpulan yang didapatkan pada jurnal bahwa proses milling pada karbon aktif akan meningkatkan kapasitas penyerapan gas, namun penggunaan nilai BET akan terjadi ketidaksesuaian di mana terjadi penurunan nilai BET sehingga uji BET ini tidak sesuai jika digunakan untuk jenis karbon aktif yang diberi perlakuan ball mill[31].

IV.2 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI 35⁰C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif granular pada temperature uji 35⁰C sebagai berikut.

Tabel IV.3 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35⁰ C pada Karbon Aktif Granular

35 ⁰ C (1)		35 ⁰ C (2)		35 ⁰ C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
233.040	0.0026	243.687	0.0003	234.687	0.0024	237.138	0.0018
481.079	0.0097	508.646	0.0062	489.410	0.0113	493.045	0.0091
967.048	0.0189	1014.382	0.0246	964.784	0.0302	982.071	0.0246
1920.635	0.0432	1960.809	0.0553	1950.596	0.0640	1944.013	0.0542
2889.908	0.0730	2964.019	0.0847	2859.040	0.0926	2904.322	0.0834
3907.805	0.1045	3862.638	0.1242	3888.604	0.1266	3886.349	0.1184



Gambar IV.1 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35⁰ C pada Karbon Aktif Granular

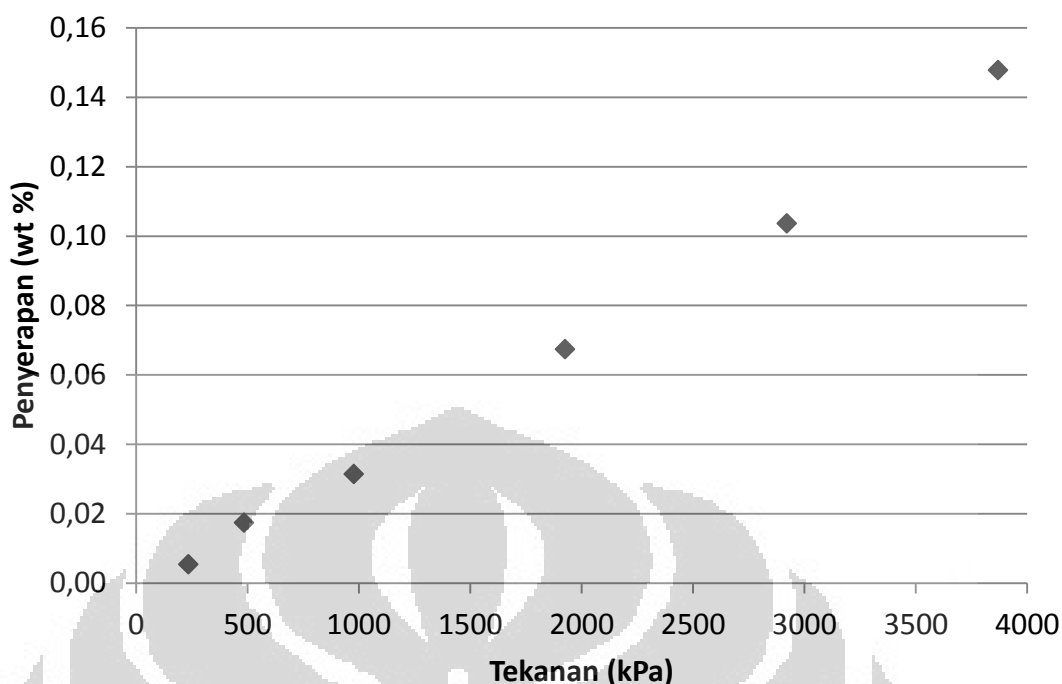
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu 35°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0026 wt %, 0.0003 wt %, dan 0.0024 wt% dengan penyerapan rata-ratanya 0.0018 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu 35°C berkisar antara 0.1045 wt %, 0.1242 wt %, dan 0.1266 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.1184 wt %.

IV.3 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI -5°C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif granular pada temperature uji -5°C sebagai berikut.

Tabel IV.4 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5°C pada Karbon Aktif Granular

-5°C (1)		-5°C (2)		-5°C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
236.904	0.0117	233.949	0.0014	235.636	0.0030	235.496	0.0054
478.559	0.0301	488.675	0.0094	487.290	0.0126	484.841	0.0174
994.728	0.0460	978.093	0.0229	962.103	0.0252	978.308	0.0314
1917.247	0.0798	1930.842	0.0624	1929.461	0.0599	1925.850	0.0674
2935.877	0.1156	2920.899	0.0987	2907.632	0.0966	2921.469	0.1036
3822.495	0.1689	3879.843	0.1411	3905.225	0.1334	3869.188	0.1478



Gambar IV.2 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5°C pada Karbon Aktif Granular

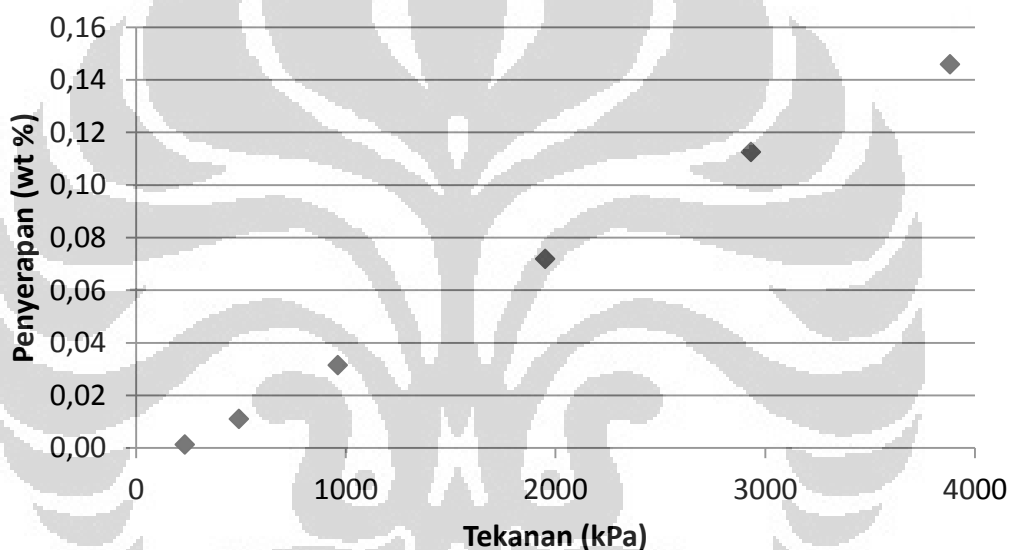
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu -5°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0117 wt %, 0.0014 wt %, dan 0.0030 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0054 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu -5°C berkisar antara 0.1689 wt %, 0.1411 wt %, dan 0.1334 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.1478 wt %.

IV.4 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35°C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 1 jam pada temperatur uji 35°C sebagai berikut.

Tabel IV.5 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35⁰ C pada Karbon Aktif Pelet
Reaktivasi 1 Jam

35 ⁰ C (1)		35 ⁰ C (2)		35 ⁰ C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
235.472	0.0004	233.858	0.0030	229.219	0.0005	232.850	0.0013
480.078	0.0082	507.314	0.0118	484.102	0.0132	490.498	0.0111
962.972	0.0418	958.459	0.0322	964.968	0.0204	962.133	0.0315
1990.823	0.0848	1935.533	0.0796	1926.270	0.0513	1950.875	0.0719
2937.339	0.1442	2889.907	0.1176	2971.630	0.0757	2932.959	0.1125
3898.343	0.1725	3829.915	0.1502	3917.869	0.1149	3882.042	0.1459



Gambar IV.3 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35⁰ C pada
Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam

Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu 35⁰C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0004 wt %, 0.0030 wt %, dan 0.0005 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0013 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu

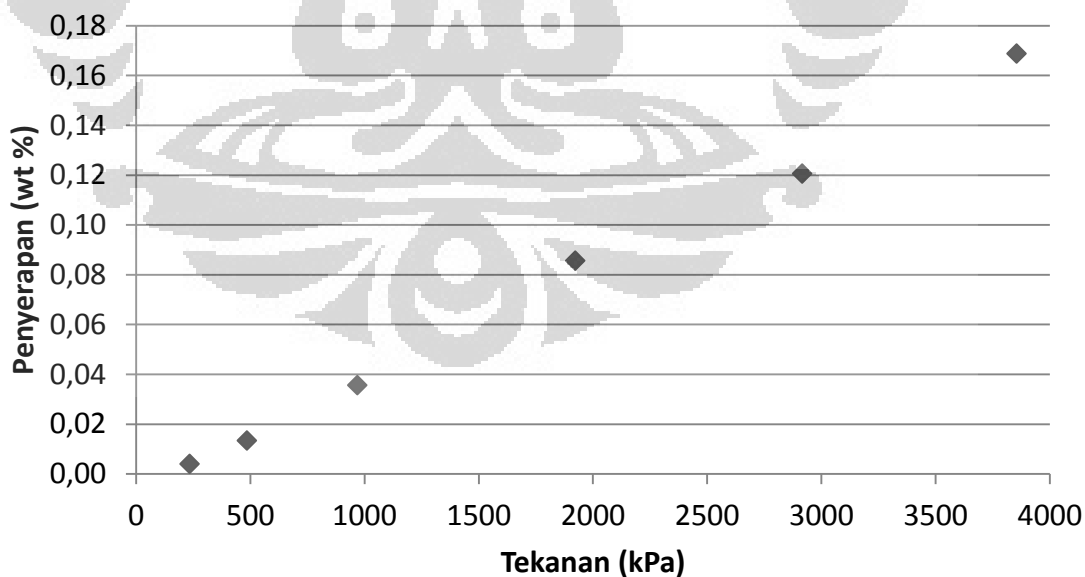
35⁰C berkisar antara 0.1725 wt %, 0.1502 wt %, dan 0.1149 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.1459 wt %.

IV.5 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5⁰C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 1 jam pada temperature uji -5⁰C sebagai berikut.

Tabel IV.6 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam

-5 ⁰ C (1)		-5 ⁰ C (2)		-5 ⁰ C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
232.051	0.0094	231.563	0.0009	238.896	0.0015	234.170	0.0039
485.495	0.0188	481.201	0.0094	488.673	0.0116	485.123	0.0133
962.420	0.0363	963.265	0.0399	980.261	0.0305	968.649	0.0356
1922.547	0.0706	1927.342	0.0978	1920.952	0.0884	1923.614	0.0856
2910.723	0.1153	2922.818	0.1266	2915.557	0.1195	2916.366	0.1205
3896.845	0.2034	3809.753	0.1552	3857.906	0.1475	3854.835	0.1687



Gambar IV.4 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 1 Jam

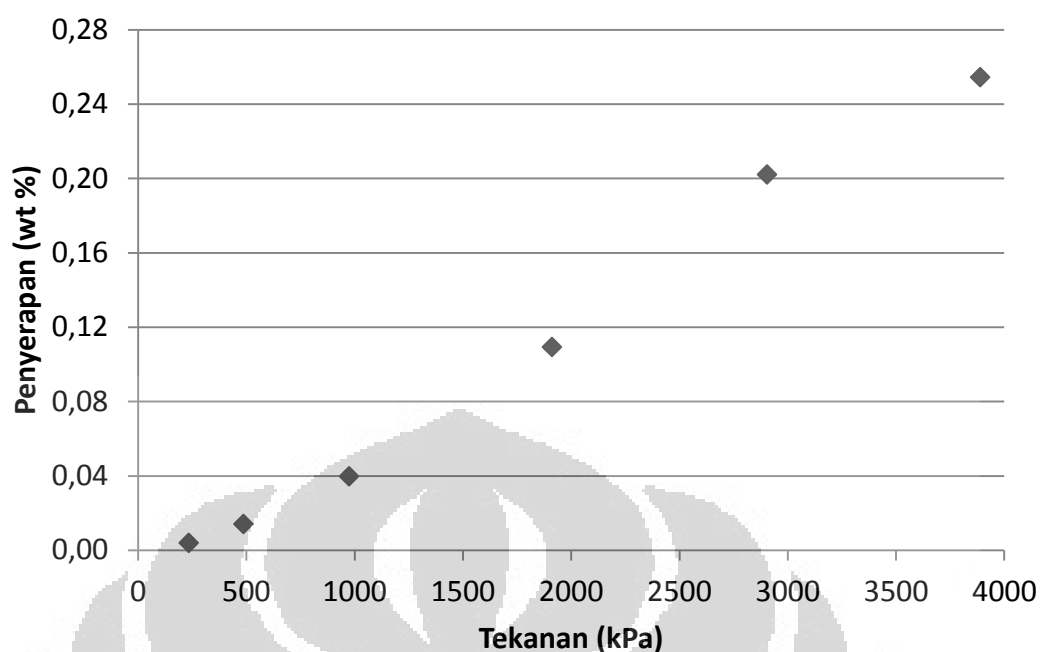
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu -5°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0094 wt %, 0.0009 wt %, dan 0.0015 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0039 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu -5°C berkisar antara 0.2034 wt %, 0.1552 wt %, dan 0.1475 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.1687 wt %.

IV.6 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35°C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 3 jam pada temperatur uji 35°C sebagai berikut.

Tabel IV.7 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35°C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam

35°C (1)		35°C (2)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
236.755	0.0044	232.784	0.0034	234.770	0.0039
494.201	0.0114	480.457	0.0167	487.329	0.0140
966.148	0.0379	982.443	0.0416	974.296	0.0397
1920.712	0.1069	1904.188	0.1115	1912.450	0.1092
2908.047	0.2019	2900.698	0.2021	2904.373	0.2020
3883.818	0.2277	3896.051	0.2811	3889.935	0.2544



Gambar IV.5 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35⁰ C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam

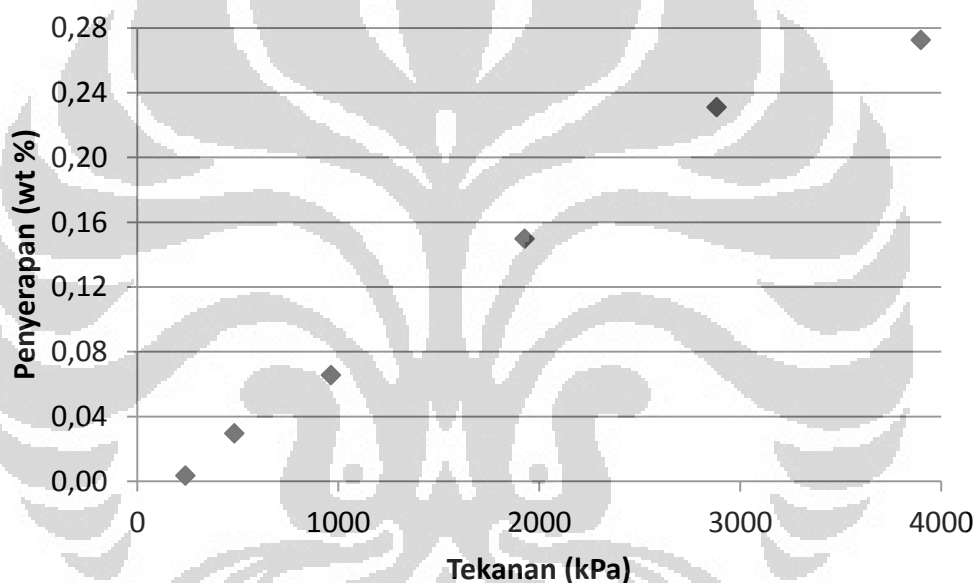
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu 35⁰C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0044 wt %, dan 0.0034 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0039 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu 35⁰C berkisar antara 0.2277 wt %, dan 0.2811 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.2544 wt %.

IV.7 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5⁰C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 3 jam pada temperatur uji -5⁰C sebagai berikut.

Tabel IV.8 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5°C pada Karbon Aktif Pelet
Reaktivasi 3 Jam

-5°C (1)		-5°C (2)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
244.897	0.0010	235.329	0.0059	240.113	0.0034
485.076	0.0324	482.860	0.0267	483.968	0.0295
971.030	0.0634	958.973	0.0676	965.002	0.0655
1941.126	0.1432	1914.745	0.1563	1927.936	0.1497
2862.424	0.2459	2904.651	0.2160	2883.538	0.2310
3901.886	0.2663	3897.202	0.2789	3899.544	0.2726



Gambar IV.6 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5°C pada
Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 3 Jam

Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu -5°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0010 wt %, dan 0.0059

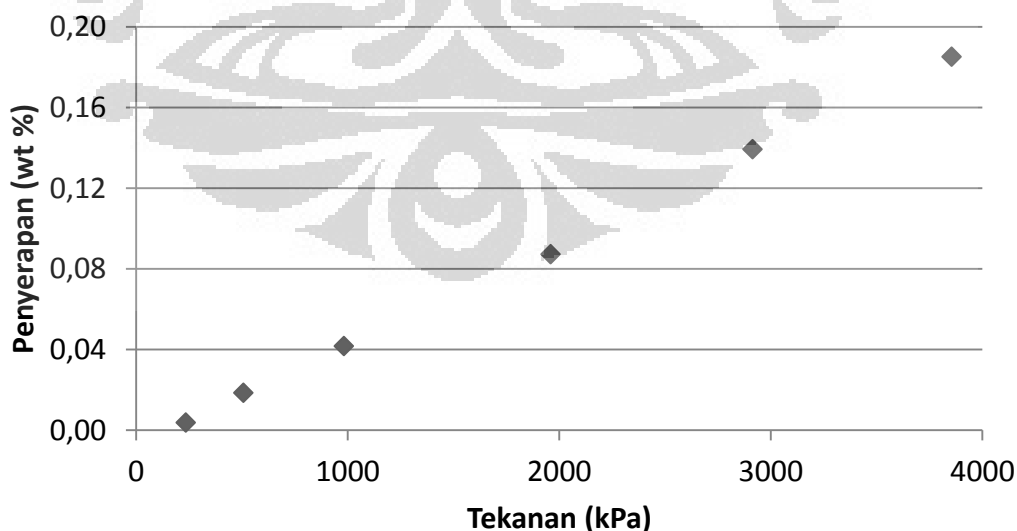
wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0034 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu -5°C berkisar antara 0.2663 wt %, dan 0.2789 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.2726 wt %.

IV.8 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI 35°C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 6 jam pada temperatur uji 35°C sebagai berikut.

Tabel IV.9 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu 35°C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam

35°C (1)		35°C (2)		35°C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
240.136	0.0020	232.707	0.0083	234.916	0.0010	235.920	0.0038
524.939	0.0156	482.246	0.0260	513.798	0.0138	506.994	0.0185
985.853	0.0382	964.275	0.0498	996.578	0.0373	982.235	0.0417
1991.756	0.0916	1937.210	0.0962	1947.868	0.0737	1958.945	0.0872
2967.538	0.1433	2876.690	0.1382	2897.786	0.1365	2914.005	0.1393
3857.905	0.1977	3863.027	0.1865	3845.409	0.1710	3855.447	0.1851



Gambar IV.7 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu 35°C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam

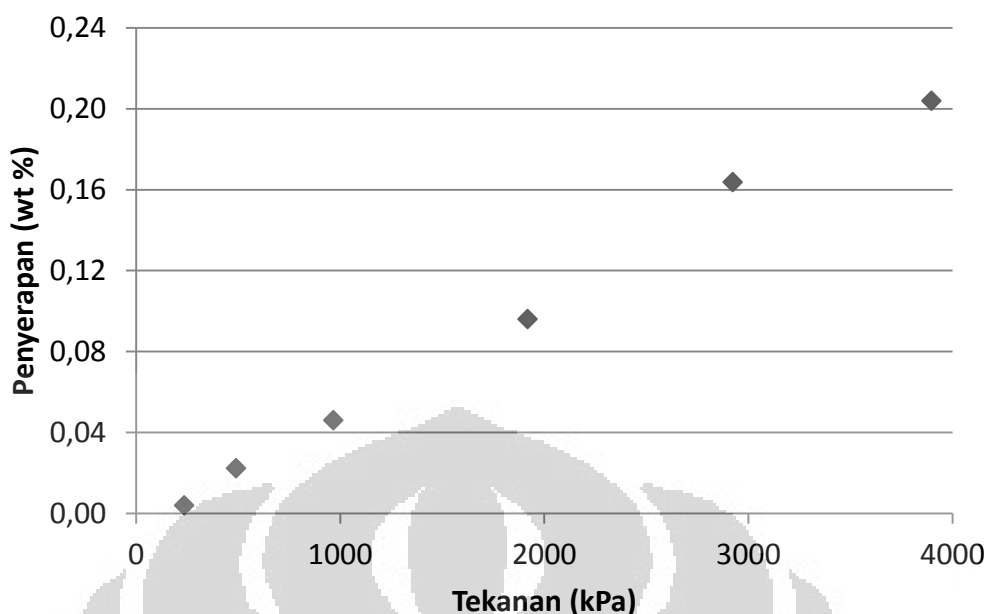
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu 35°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0020 wt %, 0.0083 wt %, dan 0.0010 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0038 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu 35°C berkisar antara 0.1977 wt %, 0.1865 wt %, dan 0.1710 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.1851 wt %.

IV.9 ADSORPSI PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI -5°C

Dari pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali pengambilan data untuk mendapatkan repeatabilitas maka diperoleh data penyerapan gas hidrogen oleh karbon aktif pelet reaktivasi 6 jam pada temperatur uji -5°C sebagai berikut.

Tabel IV.10 Adsorpsi Isotermal Hidrogen Suhu -5°C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam

-5°C (1)		-5°C (2)		-5°C (3)		Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)	Tekanan (kPa)	Penyerapan (wt %)		
242.676	0.0083	230.752	0.0013	233.739	0.0019	235.72	0.0039
488.920	0.0278	480.508	0.0263	499.659	0.0127	489.70	0.0222
970.706	0.0558	962.704	0.0491	966.572	0.0329	966.66	0.0459
1916.346	0.1083	1916.762	0.1007	1922.301	0.0790	1918.47	0.0960
2923.214	0.1729	2917.727	0.1795	2929.767	0.1386	2923.57	0.1637
3892.290	0.1793	3906.181	0.2262	3894.033	0.2060	3897.50	0.2038



Gambar IV.8 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen Suhu -5°C pada Karbon Aktif Pelet Reaktivasi 6 Jam

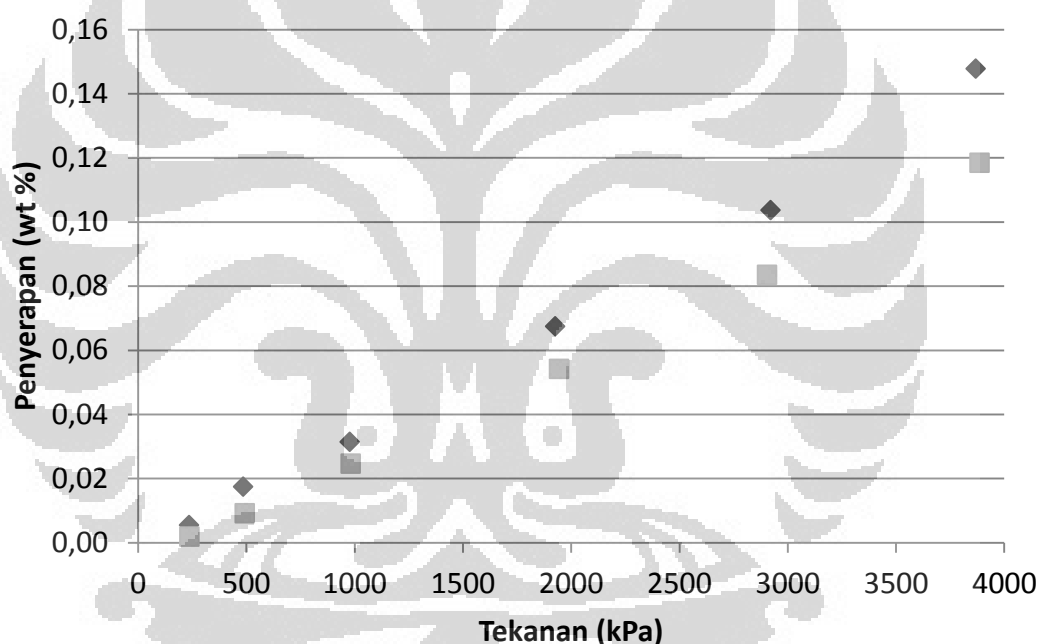
Dari table dan grafik di atas dapat dilihat bahwa besarnya serapan gas hidrogen bergantung pada tekanan yang diberikan. Semakin besar tekanan gas yang diberikan maka semakin besar penyerapannya. Hal ini dimungkinkan akibat tekanan pada daerah mikropori dari karbon aktif lebih besar sehingga menyebabkan semakin banyak molekul gas hidrogen yang menempel pada daerah mikropori dari karbon aktif. Penyerapan minimum yang terjadi pada tekanan ± 250 kPa dengan suhu -5°C sangat kecil yakni berkisar antara 0.0083 wt %, 0.0013 wt %, dan 0.0019 wt % dengan penyerapan rata-ratanya 0.0039 wt %. Sedangkan untuk penyerapan maksimum yang terjadi pada tekanan ± 4000 kPa dengan suhu -5°C berkisar antara 0.1793 wt %, 0.2262 wt %, dan 0.2060 wt % dengan penyerapan rata-rata 0.2038 wt %.

IV.10 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF GRANULAR DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35°C DAN -5°C

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif granular dengan temperature uji antara 35°C dan -5°C .

Tabel IV.11 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Granular

-5°C		35°C	
Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)	Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
235.496	0.0054	237.138	0.0018
484.841	0.0174	493.045	0.0091
978.308	0.0314	982.071	0.0246
1925.850	0.0674	1944.013	0.0542
2921.469	0.1036	2904.322	0.0834
3869.188	0.1478	3886.349	0.1184



Gambar IV.9 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Granular, \blacklozenge Suhu -5°C , \blacksquare Suhu 35°C

Dari table dan grafik di atas terlihat bahwa penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif granular memiliki perbedaan penyerapan pada tekanan yang sama namun dengan temperature yang berbeda. Pada temperature -5°C dibandingkan dengan temperature 35°C pada tekanan yang sama terlihat bahwa penyerapan pada suhu -5°C lebih besar. Penyerapan minimum pada tekanan ± 250 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.0018 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.0054 wt %.

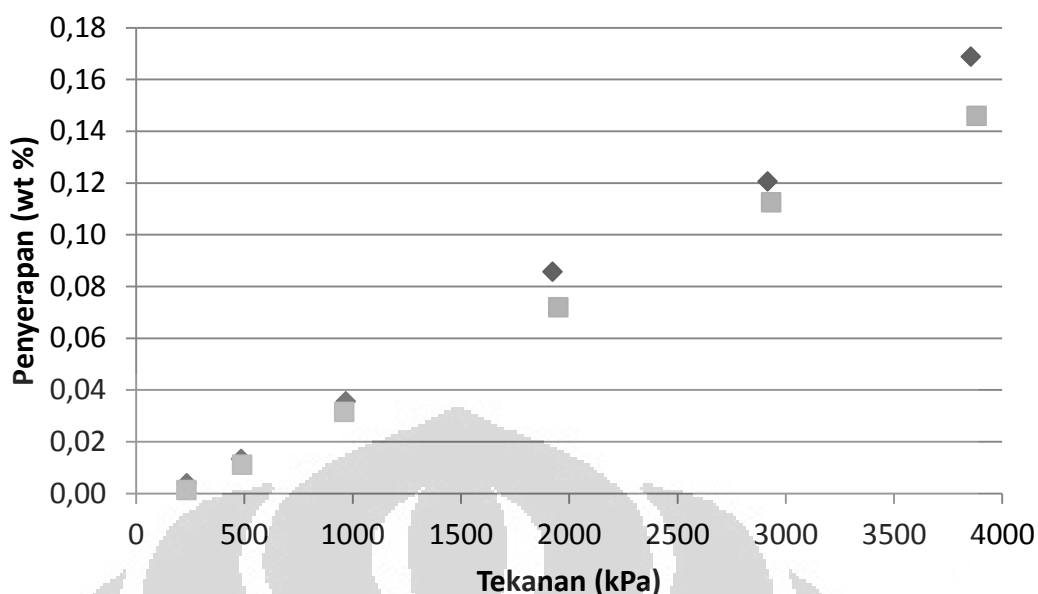
Penyerapan maksimum pada tekanan ± 4000 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.1184 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.1478 wt %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah temperature kerja pada tekanan yang sama maka akan semakin besar penyerapan gas hidrogen yang didapatkan. Ini disebabkan karena pada proses penyerapan gas hidrogen terjadi proses eksotermis sehingga semakin rendah suhu lingkungan maka panas yang dilepaskan dari system akan semakin besar dan ini akan memperbesar penyerapan.

IV.11 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 1 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35°C DAN -5°C

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif pelet 1 jam dengan temperature uji antara 35°C dan -5°C .

Tabel IV.12 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 1 Jam

-5°C		35°C	
Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)	Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
234.170	0.0039	232.850	0.0013
485.123	0.0133	490.498	0.0111
968.649	0.0356	962.133	0.0315
1923.614	0.0856	1950.875	0.0719
2916.366	0.1205	2932.959	0.1125
3854.835	0.1687	3882.042	0.1459



Gambar IV.10 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 1 Jam, \blacklozenge Suhu -5°C , \blacksquare Suhu 35°C

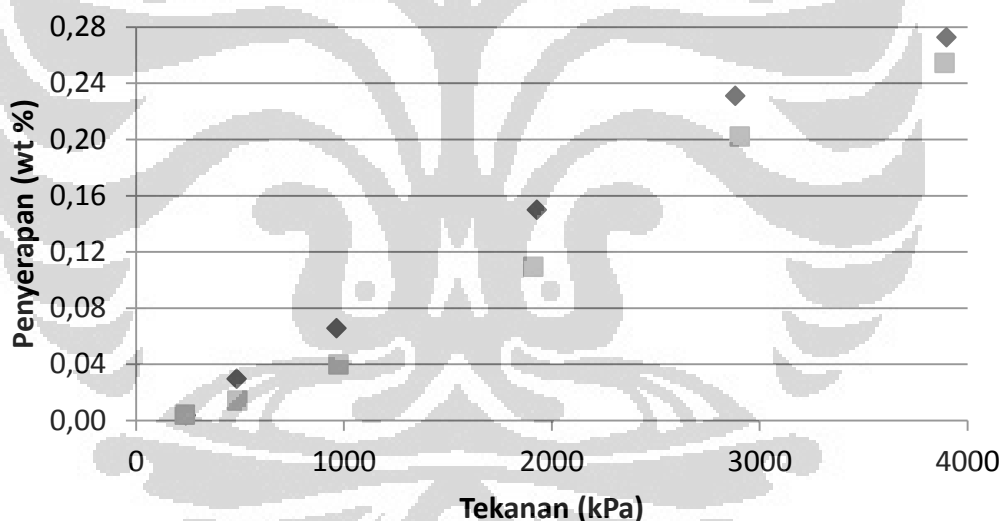
Dari table dan grafik di atas terlihat bahwa penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif bentuk pelet dengan reaktivasi 1 jam memiliki perbedaan penyerapan pada tekanan yang sama namun dengan temperature yang berbeda. Pada temperature -5°C dibandingkan dengan temperature 35°C pada tekanan yang sama terlihat bahwa penyerapan pada suhu -5°C lebih besar. Penyerapan minimum pada tekanan ± 250 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.0013 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.0039 wt %. Penyerapan maksimum pada tekanan ± 4000 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.1459 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.1687 wt %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah temperature kerja pada tekanan yang sama maka akan semakin besar penyerapan gas hidrogen yang didapatkan. Ini disebabkan karena pada proses penyerapan gas hidrogen terjadi proses eksotermis sehingga semakin rendah suhu lingkungan maka panas yang dilepaskan dari system akan semakin besar dan ini akan memperbesar penyerapan.

IV.12 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 3 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35°C DAN -5°C

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif pelet 3 jam dengan temperature uji antara 35⁰C dan -5⁰C.

Tabel IV.13 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 3 Jam

-5 ⁰ C		35 ⁰ C	
Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)	Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
240.113	0.0034	234.770	0.0039
483.968	0.0295	487.329	0.0140
965.002	0.0655	974.296	0.0397
1927.936	0.1497	1912.450	0.1092
2883.538	0.2310	2904.373	0.2020
3899.544	0.2726	3889.935	0.2544



Gambar IV.11 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 3 Jam, ♦ Suhu -5⁰C, ■ Suhu 35⁰C

Dari table dan grafik di atas terlihat bahwa penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif bentuk pelet dengan reaktivasi 3 jam memiliki perbedaan penyerapan pada tekanan yang sama namun dengan temperature yang berbeda. Pada temperature -5⁰C dibandingkan dengan temperature 35⁰C pada tekanan yang sama terlihat bahwa penyerapan pada suhu -5⁰C lebih besar. Penyerapan minimum pada tekanan ± 250 kPa untuk suhu 35⁰C sebesar 0.0039 wt % sedangkan untuk suhu

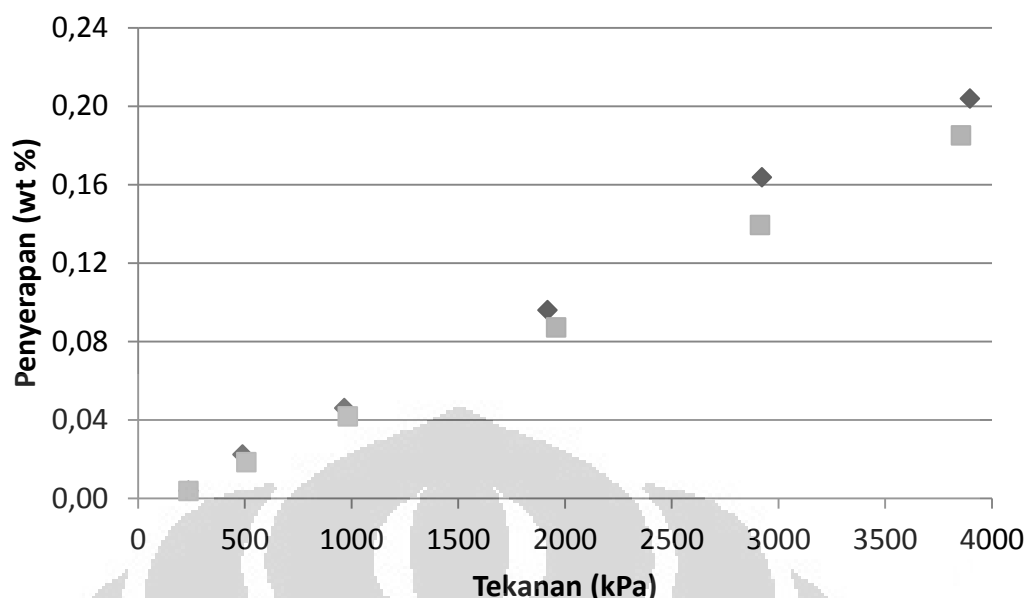
-5°C sebesar 0.0034 wt %. Penyerapan maksimum pada tekanan ± 4000 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.2544 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.2726 wt %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah temperature kerja pada tekanan yang sama maka akan semakin besar penyerapan gas hidrogen yang didapatkan. Ini disebabkan karena pada proses penyerapan gas hidrogen terjadi proses eksotermis sehingga semakin rendah suhu lingkungan maka panas yang dilepaskan dari system akan semakin besar dan ini akan memperbesar penyerapan.

IV.13 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF PELET REAKTIVASI 6 JAM DENGAN TEMPERATUR UJI ANTARA 35°C DAN -5°C

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif pelet 6 jam dengan temperature uji antara 35°C dan -5°C .

Tabel IV.14 Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 6 Jam

-5°C		35°C	
Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)	Rata2 Tekanan (kPa)	Rata 2 Penyerapan (wt %)
235.722	0.0039	235.920	0.0038
489.696	0.0222	506.994	0.0185
966.661	0.0459	982.235	0.0417
1918.470	0.0960	1958.945	0.0872
2923.569	0.1637	2914.005	0.1393
3897.501	0.2038	3855.447	0.1851

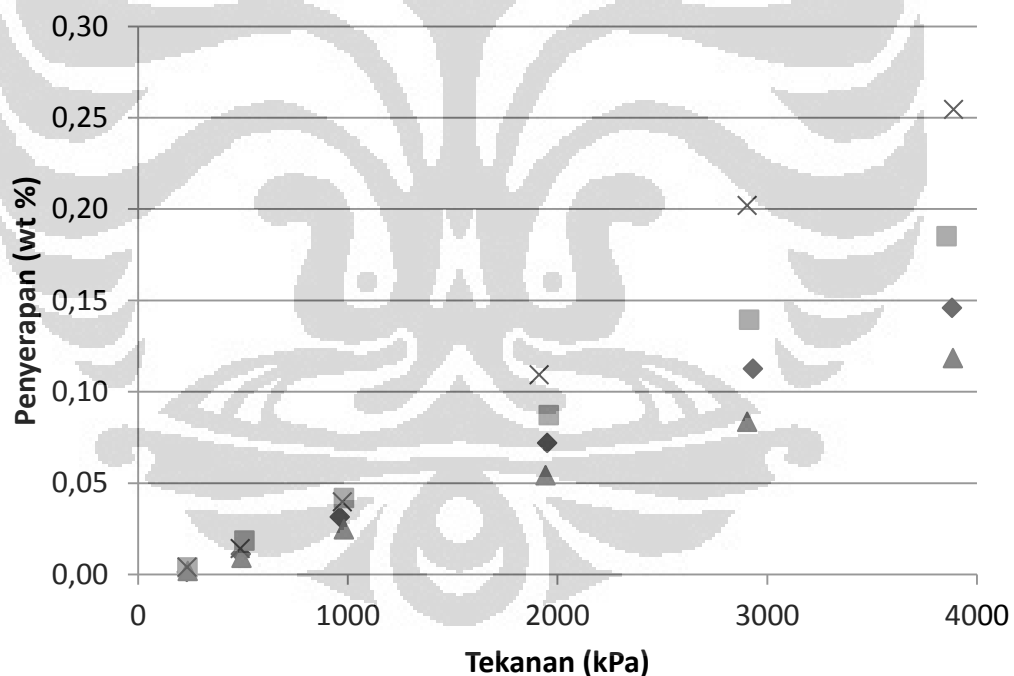


Gambar IV.12 Grafik Adsorpsi Isotermal Rata-rata Hidrogen pada Karbon aktif Bentuk Pelet 6 Jam, \blacklozenge Suhu -5°C , \blacksquare Suhu 35°C

Dari table dan grafik di atas terlihat bahwa penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif bentuk pelet dengan reaktivasi 6 jam memiliki perbedaan penyerapan pada tekanan yang sama namun dengan temperature yang berbeda. Pada temperature -5°C dibandingkan dengan temperature 35°C pada tekanan yang sama terlihat bahwa penyerapan pada suhu -5°C lebih besar. Penyerapan minimum pada tekanan ± 250 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.0038 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.0039 wt %. Penyerapan maksimum pada tekanan ± 4000 kPa untuk suhu 35°C sebesar 0.1851 wt % sedangkan untuk suhu -5°C sebesar 0.2038 wt %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah temperature kerja pada tekanan yang sama maka akan semakin besar penyerapan gas hidrogen yang didapatkan. Ini disebabkan karena pada proses penyerapan gas hidrogen terjadi proses eksotermis sehingga semakin rendah suhu lingkungan maka panas yang dilepaskan dari system akan semakin besar dan ini akan memperbesar penyerapan.

IV.14 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF JENIS GRANULAR, PELET REAKTIVASI 1 JAM, PELET REAKTIVASI 3 JAM, DAN PELET REAKTIVASI 6 JAM PADA TEMPERATUR UJI 35°C

Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif jenis granular, pelet aktivasi 1 jam, pelet aktivasi 3 jam, dan pelet aktivasi 6 jam pada temperature uji 35°C . Dari grafik terlihat bahwa terdapat perbedaan penyerapan terhadap gas hidrogen antara karbon aktif berbentuk granular, karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 1 jam, karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 3 jam, dan karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 6 jam. Dari hasil perbandingan ini didapatkan bahwa pada temperature yang sama yakni pada 35°C dengan tekanan yang sama untuk karbon aktif jenis pelet memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif jenis granular. Pada karbon aktif jenis pelet juga memiliki perbedaan besarnya penyerapan pada tekanan dan temperature yang sama. Karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 1 jam memiliki penyerapan yang lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif pelet dengan reaktivasi 3 jam dan 6 jam.



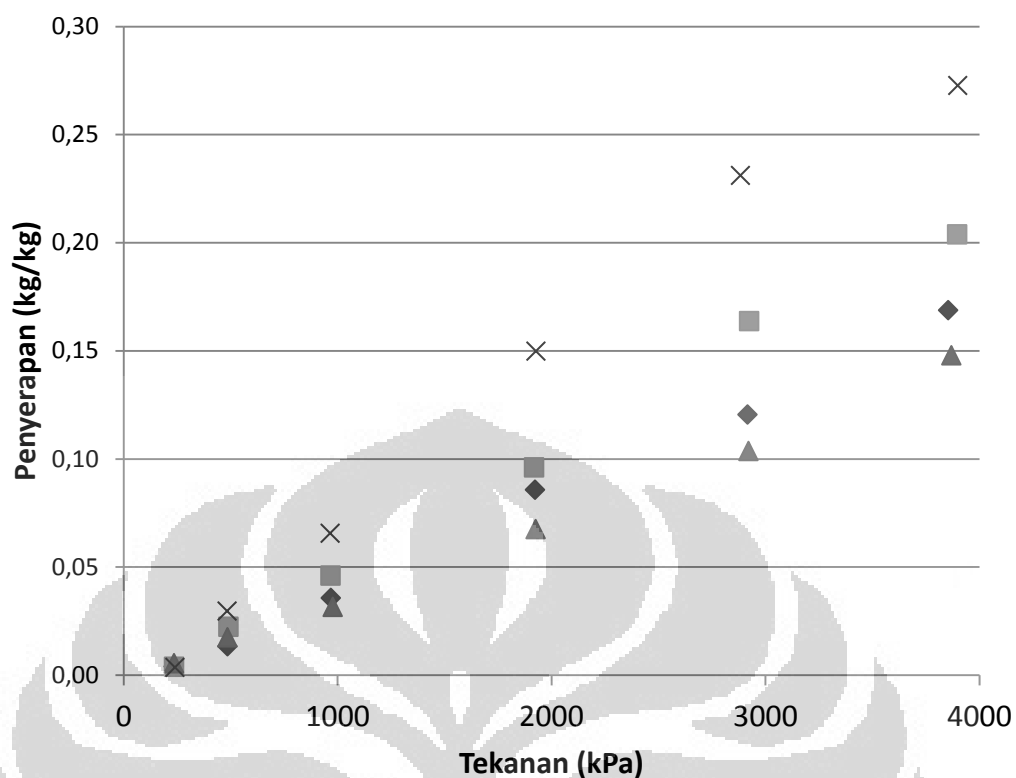
Gambar IV.13 Grafik Komparasi Adsorpsi Isotermal rata-rata Hidrogen pada Temperatur 35°C

▲ Granular, ◆ Pelet Reaktivasi 1 Jam, ■ Pellet Reaktivasi 6 jam, x Pellet Reaktivasi 3 jam

Pada perbandingan antara karbon aktif reaktivasi 3 jam memiliki penyerapan lebih besar dibandingkan dengan reaktivasi 6 jam. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk karbon aktif memiliki pengaruh terhadap besarnya penyerapan gas hidrogen begitu juga waktu dari reaktivasi mempengaruhi besarnya penyerapan gas hidrogen.

IV.15 PERBANDINGAN ADSORPSI GAS HIDROGEN PADA KARBON AKTIF JENIS GRANULAR, PELET REAKTIVASI 1 JAM, PELET REAKTIVASI 3 JAM, DAN PELET REAKTIVASI 6 JAM PADA TEMPERATUR UJI -5°C

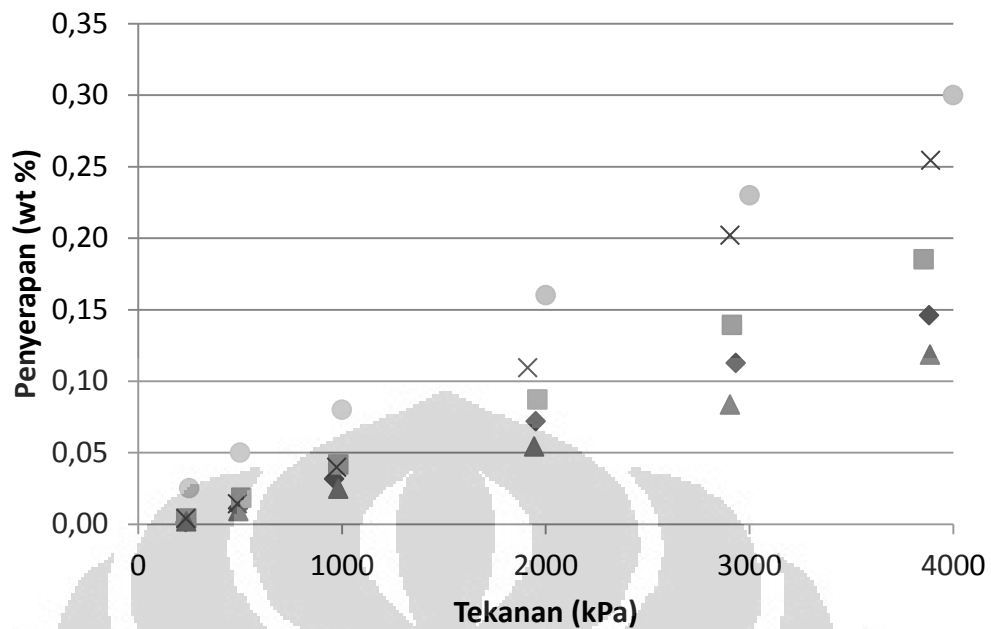
Berikut merupakan perbandingan penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif jenis granular, pelet aktivasi 1 jam, pelet aktivasi 3 jam, dan pelet aktivasi 6 jam pada temperature uji -5°C . Dari grafik terlihat bahwa terdapat perbedaan penyerapan terhadap gas hidrogen antara karbon aktif berbentuk granular, karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 1 jam, karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 3 jam, dan karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 6 jam. Dari hasil perbandingan ini didapatkan bahwa pada temperature yang sama yakni pada -5°C dengan tekanan yang sama untuk karbon aktif jenis pelet memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif jenis granular. Pada karbon aktif jenis pelet juga memiliki perbedaan besarnya penyerapan pada tekanan dan temperature yang sama. Karbon aktif pelet dengan reaktivasi selama 1 jam memiliki penyerapan yang lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif pelet dengan reaktivasi 3 jam dan 6 jam. Pada perbandingan antara karbon aktif reaktivasi 3 jam memiliki penyerapan lebih besar dibandingkan dengan reaktivasi 6 jam. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk karbon aktif memiliki pengaruh terhadap besarnya penyerapan gas hidrogen begitu juga waktu dari reaktivasi mempengaruhi besarnya penyerapan gas hidrogen.



Gambar IV.14 Grafik Komparasi Adsorpsi Isotermal rata-rata Hidrogen pada Temperatur -5°C
 ▲ Granular, ◆ Pelet Reaktivasi 1 Jam, ■ Pelet Reaktivasi 6 jam, x Pellet Reaktivasi 3 jam

IV.16 PERBANDINGAN ADSORPSI HASIL UJI DENGAN ADSORPSI PADA JURNAL

Data hasil uji ini dibandingkan dengan jurnal sebagai bahan untuk validasi. Pada jurnal yang dikeluarkan oleh Chen-Chia Huang (Hydrogen Adsorption on Modified Activated Carbon) terlihat bahwa besarnya penyerapan pada karbon aktif dengan temperature 30°C sekitar ± 0.30 wt % pada tekanan ± 4000 kPa. Penyerapan ini masih lebih besar dari data hasil uji dengan penyerapan terbesar pada suhu 35°C untuk karbon aktif jenis pelet 3 jam untuk tekanan ± 4000 kPa yakni sebesar 0.25 wt %.



Gambar IV.15 Grafik Komparasi Adsorpsi Hasil Uji Temperatur 35⁰C dengan Adsorpsi Pada Jurnal (Chen-Chia Huang, Hydrogen Adsorption on Modified Activated Carbon) Temperatur 30⁰C

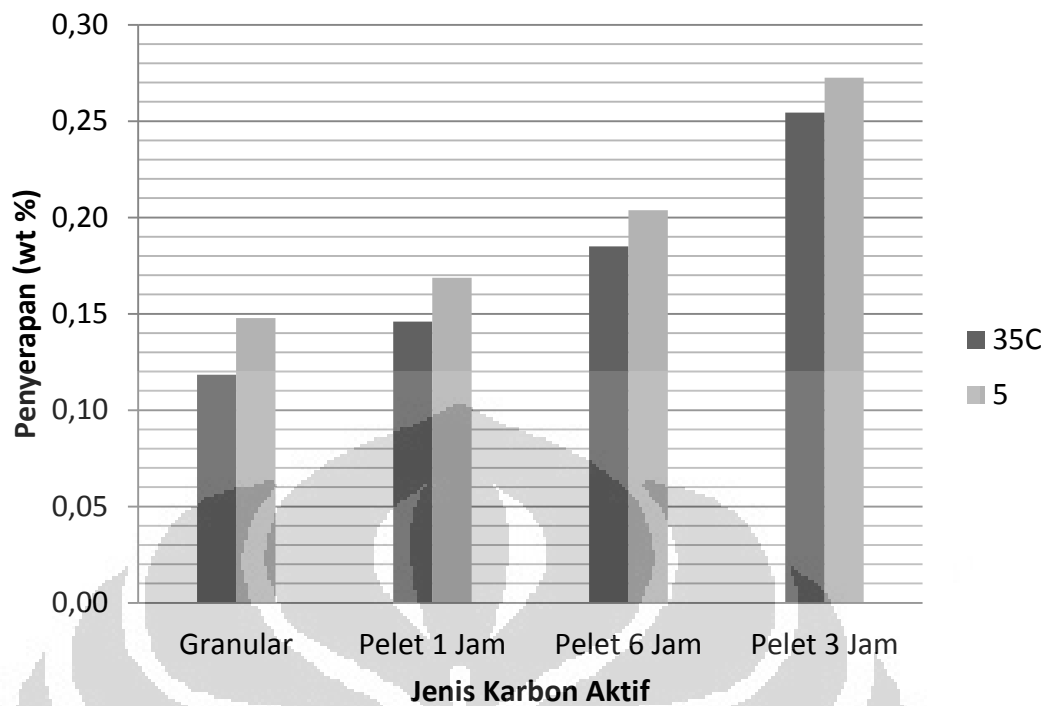
▲ Granular, ◆ Pelet Reaktivasi 1 Jam, ■ Pellet Reaktivasi 6 jam, x Pellet Reaktivasi 3 jam, ● Jurnal

IV.17 ADSORPSI RATA-RATA MAKSIMUM PADA SETIAP JENIS KARBON AKTIF

Berikut merupakan data adsorpsi maksimum untuk setiap jenis karbon aktif.

Tabel IV. 15 Penyerapan Rata-rata Maksimum

Sampel	Penyerapan rata-rata maksimum (wt %)		Penyerapan rata-rata maksimum (% wt)	
	35 ⁰ C	-5 ⁰ C	35 ⁰ C	-5 ⁰ C
Granular	0.0011842	0.0014779	0.1184	0.1478
Pelet 1 Jam	0.0014588	0.0016873	0.1459	0.1687
Pelet 6 Jam	0.0018505	0.0020384	0.1851	0.2038
Pelet 3 Jam	0.0025442	0.0027261	0.2544	0.2726



Gambar IV.16 Grafik Penyerapan Rata-rata Maksimum

Besarnya nilai maksimum penyerapan untuk masing-masing jenis karbon aktif pada tekanan ± 4000 kPa untuk temperature 35°C yakni, 0.1184 wt % untuk jenis granular, 0.1459 wt % untuk jenis pelet dengan reaktivasi 1 jam, 0.1851 wt % untuk jenis pelet dengan reaktivasi 6 jam, dan 0.2544 wt % untuk jenis pelet dengan reaktivasi 3 jam. Untuk penyerapan maksimum pada tekanan ± 4000 kPa dan temperature -5°C yakni, 0.1478 wt % untuk jenis granular, 0.1687 wt % untuk jenis pelet reaktivasi 1 jam, 0.2038 wt % untuk jenis pelet reaktivasi 6 jam, dan 0.2726 wt % untuk jenis pelet reaktivasi 3 jam.

BAB V

KESIMPULAN

V.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Material Lignoselulosa dapat dipakai untuk bahan pengikat pada proses kompaksi nano partikel karbon aktif.
2. Perbandingan antara likuida linoselulosa dengan serbuk karbon aktif yakni 3:4 akan terbentuk campuran yang homogen dan baik.
3. Penyerapan pada karbon aktif nano bentuk pelet lebih besar dibandingkan dengan penyerapan pada karbon aktif bentuk granular.
4. Penyerapan pada temperature rendah lebih banyak dibandingkan penyerapan pada temperature yang lebih tinggi.
5. Lamanya waktu reaktivasi memberikan pengaruh terhadap besarnya penyerapan gas hidrogen pada karbon aktif.

V.2 SARAN

Adapun saran yang bisa diberikan untuk pengujian adsorpsi isothermal ini di antaranya sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan uji properties yang baik terhadap sampel karbon aktif yang akan diuji adsorpsi nya yakni meliputi uji SEM, Iodine Number, dan uji BET.
2. Menggunakan alat ukur dengan ketelitian yang tinggi karena hal ini akan mempengaruhi besarnya hasil adsorpsi yang didapatkan sangat signifikan.
3. Pada proses pencampuran antara likuida lignoselulosa dengan serbuk karbon aktif perlu menggunakan alat pencampur/ pengaduk yang standar sehingga didapatkan hasil pencampuran yang merata dan baik.
4. Perlunya alat uji adsorpsi dijaga dari medan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi nilai pengukuran pada alat ukur. Hal ini akan mempengaruhi besarnya adsorpsi yang akan didapatkan.

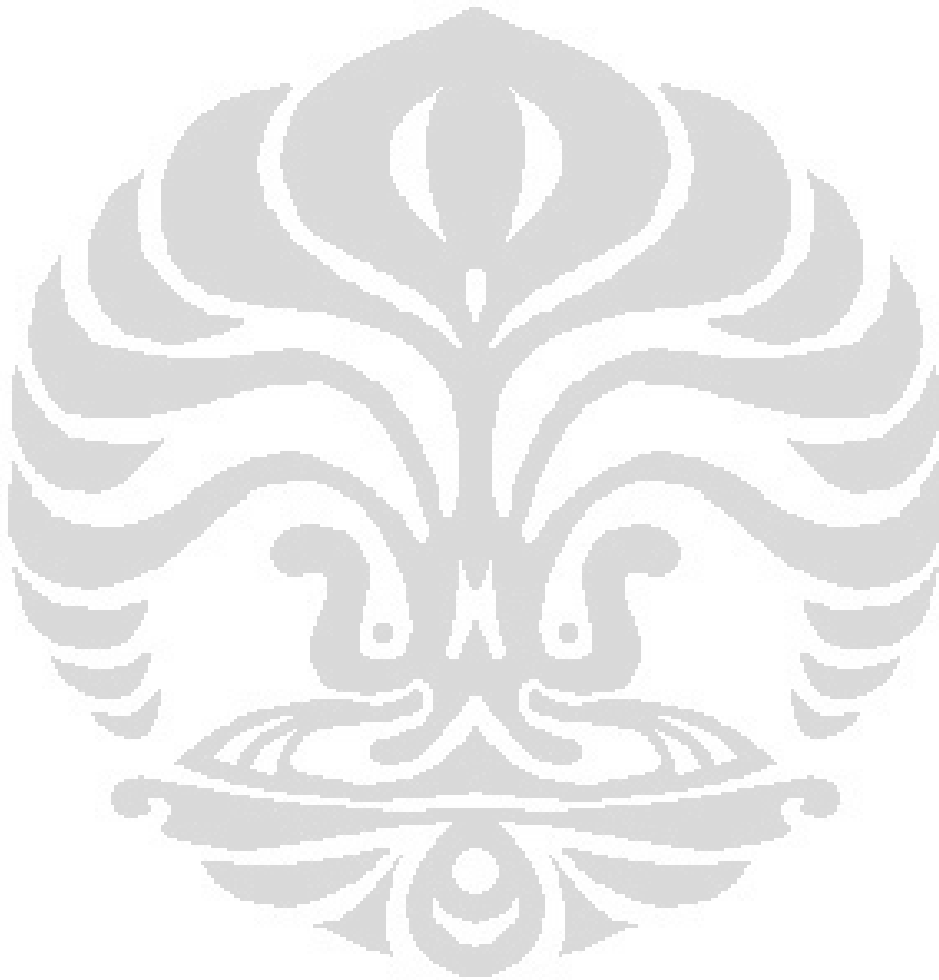
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vicente Jiménez, Paula Sánchez, José Antonio Díaz, José Luis Valverde, Amaya Romero, Hydrogen storage capacity on different carbon materials, *Chemical Physics Letters* 485 (2010) 152–155
- [2] R. Stroebel, J. Garche, P.T. Moseley, L. Joerissen, G. Wolf, Review Hydrogen storage by carbon materials, *Journal of Power Sources* 159 (2006) 781–801
- [3] Yuda Yurum, Alpay Taralp, T. Nejat Veziroglu, Review Storage of hydrogen in nanostructured carbon materials, *Int. J. hydrogen energy* 34 (2009) 3784 – 3798
- [4] W.-C. Xua, K. Takahashia, Y. Matsuo, Y. Hattoria, M. Kumagaia, S. Ishiyama, K. Kaneko, S. Iijima, Investigation of hydrogen storage capacity of various carbon materials, *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007) 2504 – 2512
- [5] M. Kunowsky, B. Weinberger, F. Lamari Darkrim, F. Suarez-Garcia, D. Cazorla-Amorosa, A. Linares-Solano, Impact of the carbonisation temperature on the activation of carbon fibres and their application for hydrogen storage, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 3091 – 3095
- [6] K. Shindo, T. Kondo, M. Arakawa, Y. Sakurai, Hydrogen adsorption / desorption properties of mechanically milled activated carbon, *Journal of Alloys and Compounds* 359 (2003) 267–271
- [7] Barbara Panella, Michael, Siegmund Roth, Hydrogen adsorption in different carbon nanostructures, *Carbon* 43 (2005) 2209–2214
- [8] Zuttela, Ch. Nutzenadela, P. Sudana, Ph. Maurona, Ch. Emmenegger, S. Rentscha, L. Schlapbach, A. Weidenkaff, T. Kiyobayashi, Hydrogen sorption by carbon nanotubes and other carbon nanostructures, *Journal of Alloys and Compounds* 330–332 (2002) 676–682

- [9] Vicente Jiménez, Paula Sánchez, José Antonio Díaz, José Luis Valverde, Amaya Romero, Hydrogen storage capacity on different carbon materials, *Chemical Physics Letters* 485 (2010) 152–155
- [10] M. Kunowsky, B. Weinberger, F. Lamari Darkrim, F. Suarez-Garcia, D. Cazorla-Amoro, A. Linares-Solano, Impact of the carbonisation temperature on the activation of carbon fibres and their application for hydrogen storage, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (2008) 3091 – 3095
- [11] M. Hirscher, B. Panella, Nanostructures with high surface area for hydrogen storage, *Journal of Alloys and Compounds* 404–406 (2005) 399–401
- [12] Lu, L. and Lai, M.O. (1998), *Mechanical Alloying*, Kluwer Academic Publ., Massachusetts, pp. 133-145
- [13] Awasthia, K., Kamalakaran, R., Singha, A.K., Srivastava, O.N. Ball-milled carbon and hydrogen storage, *International Journal of Hydrogen Energy* 27 (2002): 425–432.
- [14] Welham, N.J., Setoudeh, N., Highly adsorbent carbon formed by ball milling, *Letters to the Editor / Carbon* 43 (2005): 855–894.
- [15] Shindoa, K., Kondo, T., Arakawa, M., Sakurai, Y., Hydrogen adsorption / desorption properties of mechanically milled activated carbon, *Journal of Alloys and Compounds* 359 (2003): 267–271.
- [16] Shindo, K., Kondo, T., Sakurai, Y., Influence of milling conditions on hydrogen storage capacities of activated carbon mechanically milled in an H₂ atmosphere. *Journal of Alloys and Compounds* 397 (2005): 216–219.
- [17] Welham, N.J., Berbenni, V., Chapman, P.G., Increased chemisorption onto activated carbon after ball-milling. *Carbon* 40 (2002): 2307–2315.
- [18] K. Inomata, K. Kanazawa, Y. Uribe, H. Hasono, T. Araki. Natural gas storage in activated carbon pellets without a binder. *Carbon* 40 (2002): 87-93.

- [19] Iwan R., Pemanfaatan limbah lignoselulosa untuk bahan perekat likuida sebagai substansi alternatif perekat sintetis. Lecture paper, Departemen Kehutanan fakultas pertanian USU.
- [20] Hydrogen coordination group., Hydrogen from natural gas and coal : The road to sustainable energy future, Hydrogen Program Plan Report, U.S. Departement Of energy
- [21] Spencer A., Results of national energy Roadmap Workshop, U.S. Departement Of energy
- [22] David I., A study on Hydrogen Trough Adsorption in nanostructured carbons., These, Ecole De Mines De Paris College Doctoral
- [23] Risnasari, I., Rohendi, S., 2006, Sifat Dasar Perekat Likuida Kayu Dari Beberapa Jenis Kayu., Peronema Forestry Journal
- [24] Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering*, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo
- [25] Rouquerol, Jean, François Rouquerol, Kenneth Sing, 1998, *Adsorption By Powders And Porous Solids*, Elsevier
- [26] Keller, Jürgen U, Reiner Staudt, 2005, *Gas adsorption equilibria; Experimental methods and Adsorptive isotherms*, Springer Science + Business Media, Inc., Boston, United States of America
- [27] Awaludin, *Adsorpsi Isotermal Karbon Dioksida dan Metana Pada Karbon aktif Berbahan Dasar Batubara Sub Bituminus Indonesia Untuk Pemurnian dan Penyimpanan Gas Alam*, 2010, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok
- [28] Prauchner, M.J., Reinoso, F.R., Preparation of granular activated carbons for adsorption of natural gas. *Microporous and Mesoporous Materials* 109 (2008):581–584.
- [29] Awaludin, Suryawan, B., Alhamid, M.I., Nasruddin. Adsorpsi Isothermal C pada Karbon Aktif dengan Metode Volumetrik. *Jurnal Makara*, submitted.

- [30] Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Buku Putih, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta 2006
- [31] N.J. Welham, V. Berbenni, P.G. Chapman, *Increased chemisorptions onto activated carbon after ball-milling*. Australian National University.



LAMPIRAN 1 : HASIL UJI BET



Analysis

Operator:AM
 Sample ID: : BB_GRAN_12-12-2011
 Sample Desc: BB_GRAN
 Outgas Time: 141.0 hrs
 Analysis gas: Nitrogen
 Analysis Time: 1958.5 min

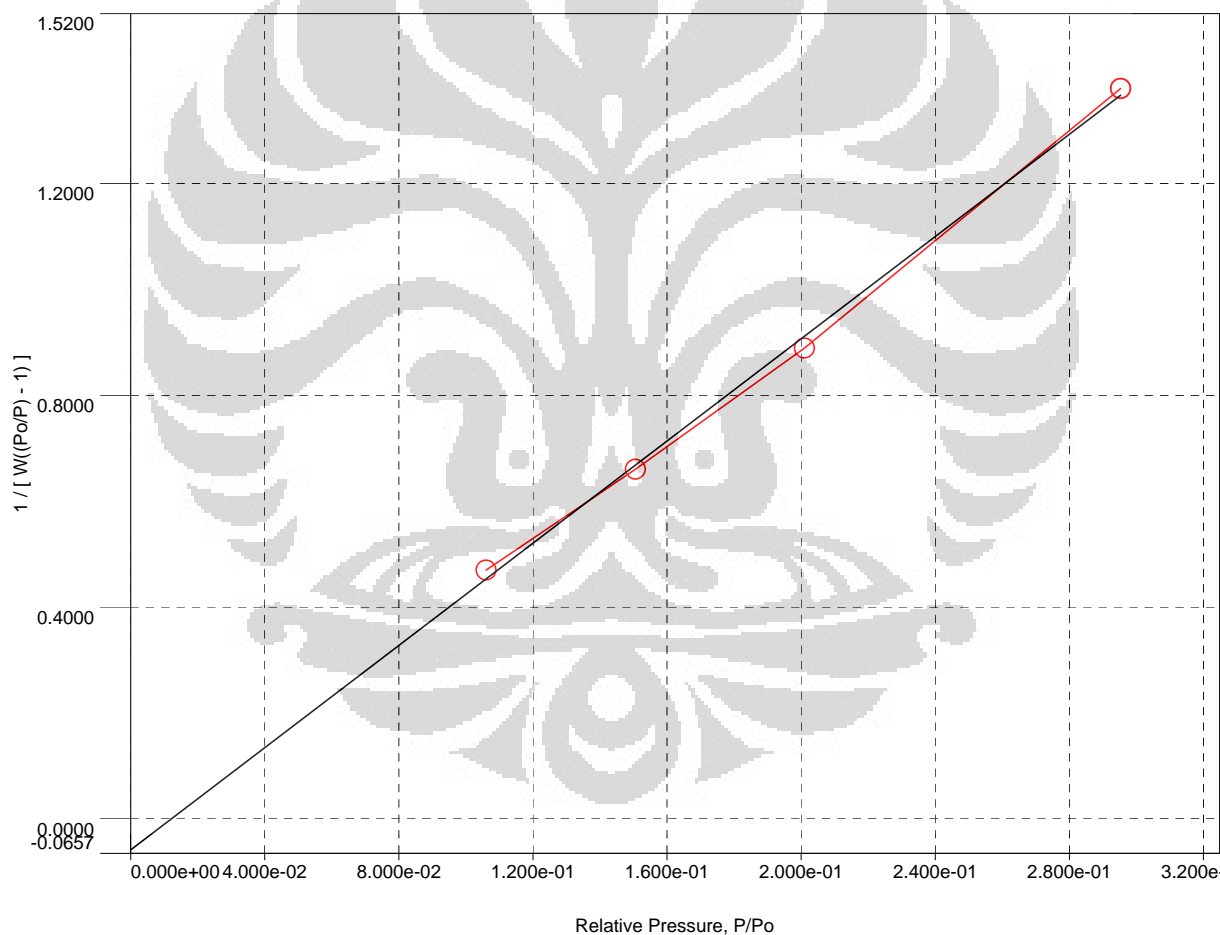
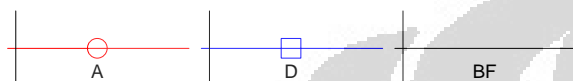
Report

Date:Tue Dec 13 17:03:23 2011 Operator:1 Date:1/19/2012
 Filename: C:\QCdata\PhysData\bb\BB_GRANULAR_BET.qps
 Comment:
 Outgas Temp: 250.0 °C Sample Weight: 0.0286 g
 Molec. Wt: 28.0134 g Non-ideality: 6.58e-05 1/mmHg
 Instrument: Autosorb Station 1 Bath temp.: 77.3 K

Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters

Adsorbate	Thermal Transpiration: off	Eff. mol. diameter (D): 0.0000 Å	Eff. cell stem diam. (d): 0.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc



BET summary

Slope = 4.830
 Intercept = -5.970e-02
 Correlation coefficient, r = 0.998916
 C constant = -79.905
 Surface Area = 729.994 m²/g

Analysis

Operator:AM
 Sample ID: : BB_1_JAM_16-01-2012
 Sample Desc: BB_1_JAM
 Outgas Time: 3.0 hrs
 Analysis gas: Nitrogen
 Analysis Time: 1129.2 min

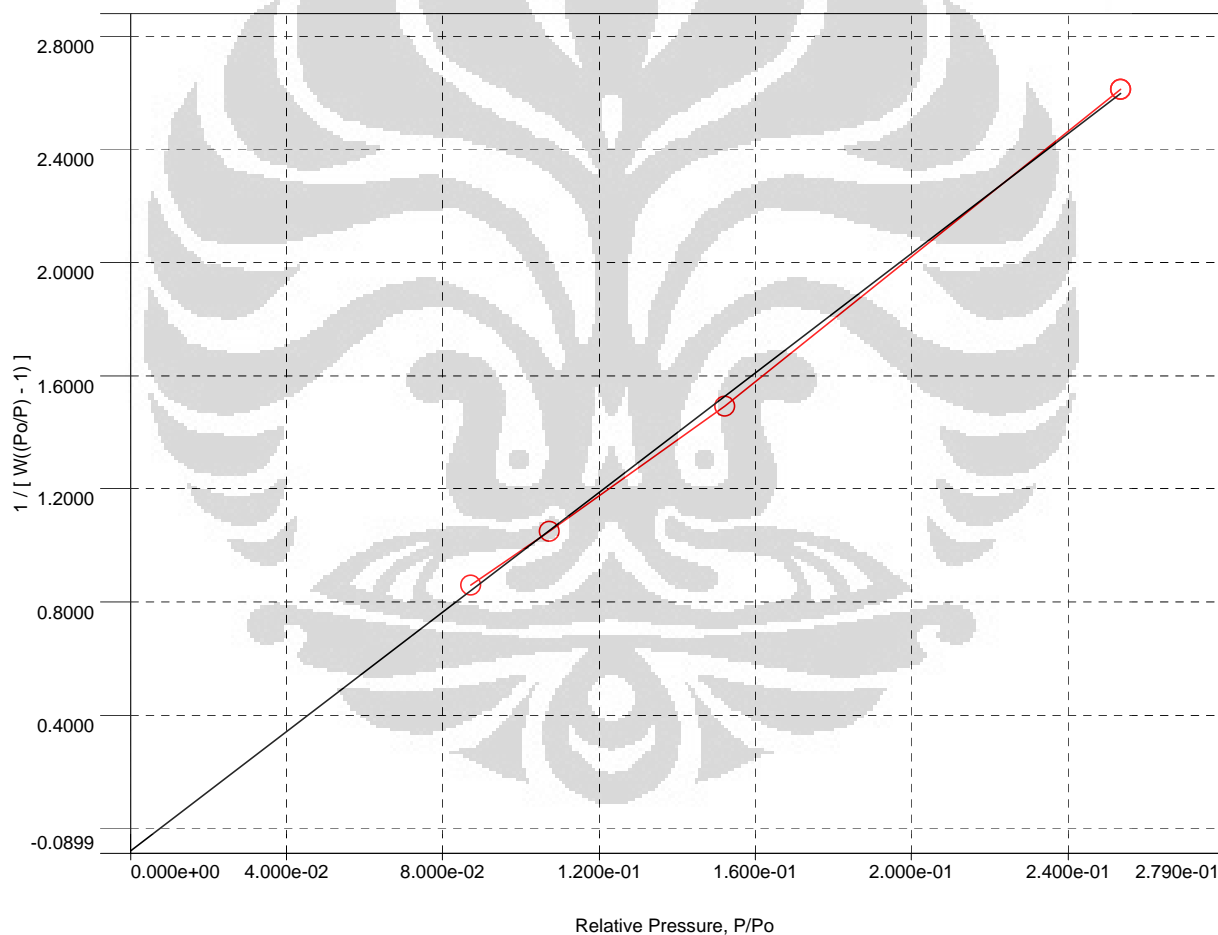
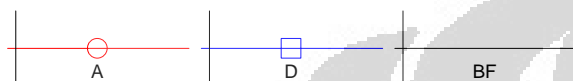
Report

Date:Tue Jan 17 08:55:05 2012 Operator:1 Date:1/19/2012
 Filename: C:\QCdata\PhysData\bb\BB_1_JAM_ISO.qps
 Comment:
 Outgas Temp: 200.0 °C Sample Weight: 0.0287 g
 Molec. Wt: 28.0134 g Non-ideality: 6.58e-05 1/mmHg
 Instrument: Autosorb Station 1 Bath temp.: 77.3 K

Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters

Adsorbate	Thermal Transpiration: off	Eff. mol. diameter (D): 0.0000 Å	Eff. cell stem diam. (d): 0.0000 mm
Nitrogen		Temperature 77.350K	
Molec. Wt.: 28.013 g		Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc



BET summary	
Slope =	10.574
Intercept =	-8.172e-02
Correlation coefficient, r =	0.999525
C constant =	-128.387
Surface Area =	331.921 m ² /g

Analysis

Operator:AM
 Sample ID: : BB_3_JAM_17-01-2012
 Sample Desc: BB_3_JAM
 Outgas Time: 20.0 hrs
 Analysis gas: Nitrogen
 Analysis Time: 617.2 min

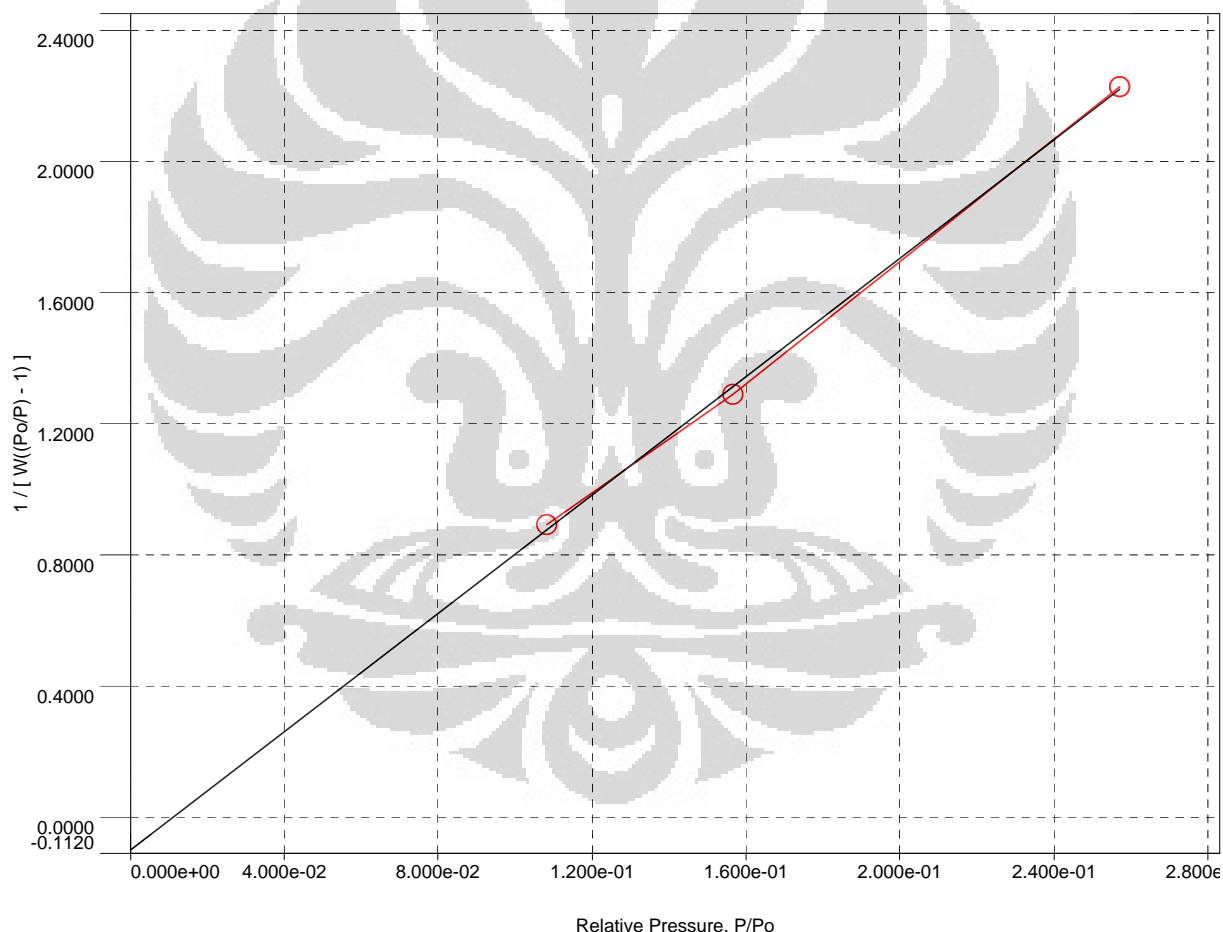
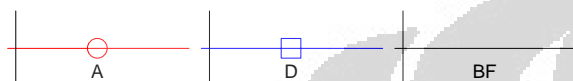
Report

Date:Tue Jan 17 19:58:37 2012 Operator:1 Date:1/19/2012
 Filename: C:\QCdata\PhysData\bb\BB_3_JAM_BET.qps
 Comment:
 Outgas Temperature: 200.0 °C
 Molec. Wt.: 28.0134 g
 Instrument: Autosorb Station 1
 Sample Weight: 0.0081 g
 Non-ideality: 6.58e-05 1/mmHg
 Bath temp.: 77.3 K

Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters

Adsorbate	Thermal Transpiration: off	Eff. mol. diameter (D): 0.0000 Å	Eff. cell stem diam. (d): 0.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å²	



BET summary

Slope = 9.028
 Intercept = -1.009e-01
 Correlation coefficient, r = 0.999564
 C constant = -88.444
 Surface Area = 390.113 m²/g

Analysis

Operator:AM
 Sample ID: : BB_6_JAM_18-01-2012
 Sample Desc: BB_6_JAM
 Outgas Time: 24.0 hrs
 Analysis gas: Nitrogen
 Analysis Time: 738.0 min

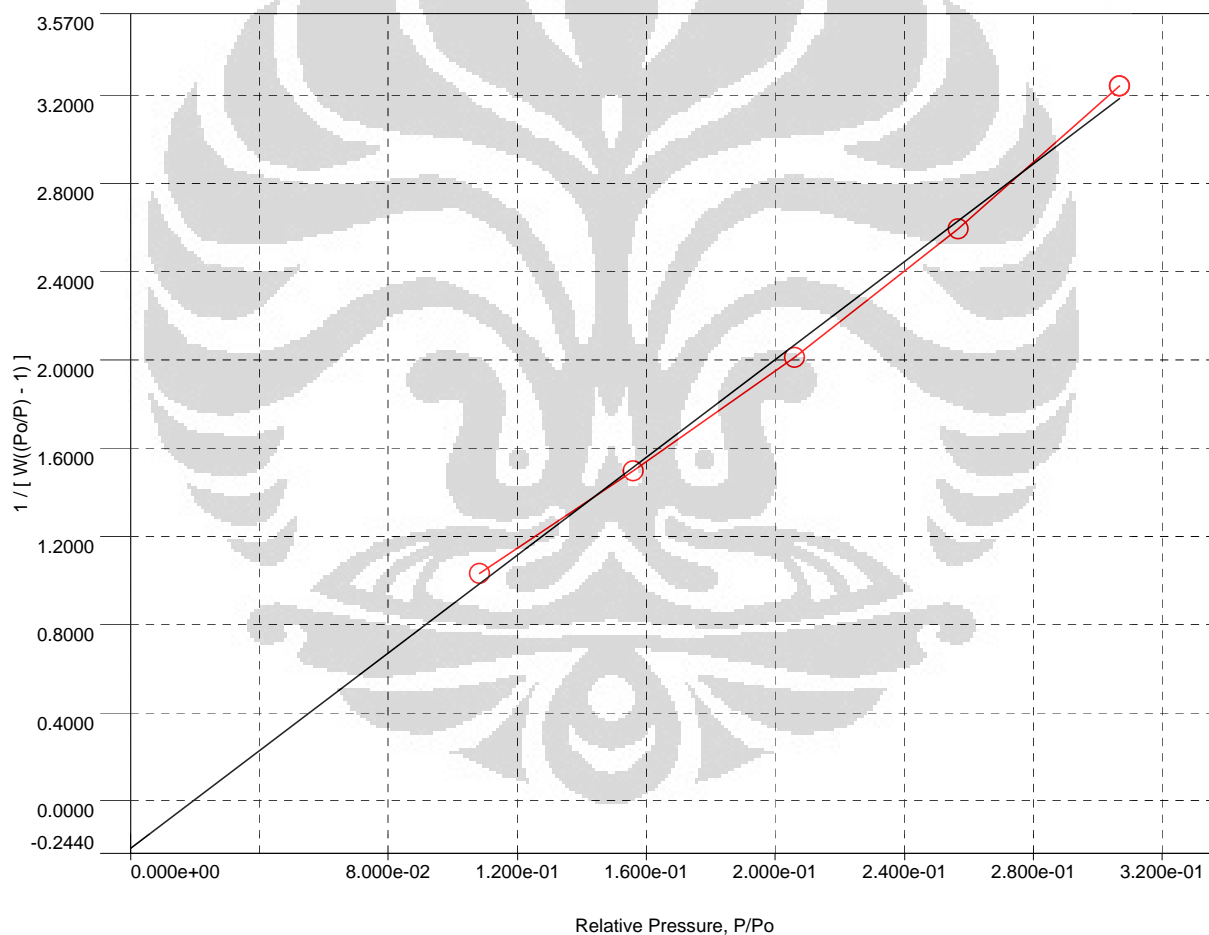
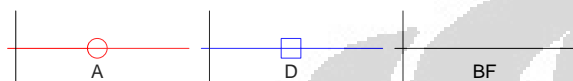
Report

Date:Wed Jan 18 21:22:54 2012 Operator:1 Date:1/19/2012
 Filename: C:\QCdata\PhysData\bb\BB_6_JAM_BET.qps
 Comment:
 Outgas Temp: 200.0 °C Sample Weight: 0.0116 g
 Molec. Wt: 28.0134 g Non-ideality: 6.58e-05 1/mmHg
 Instrument: Autosorb Station 1 Bath temp.: 77.3 K

Multi-Point BET Plot

Data Reduction Parameters

Adsorbate	Thermal Transpiration: off	Eff. mol. diameter (D): 0.0000 Å	Eff. cell stem diam. (d): 0.0000 mm
	Nitrogen	Temperature 77.350K	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section: 16.200 Å²	



BET summary

Slope = 11.106
 Intercept = -2.211e-01
 Correlation coefficient, r = 0.998302
 C constant = -49.239
 Surface Area = 319.942 m²/g