



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN KESETIMBANGAN  
ADSORPSI GAS METANA DAN CO<sub>2</sub> DENGAN  
MENGUNAKAN METODE  
*FIXED PRESSURE* DAN *FIXED VOLUME***

**SKRIPSI**

**RENTA ULY. P**

**0906604395**

**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S-1 EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN KESETIMBANGAN  
ADSORPSI GAS METANA DAN CO<sub>2</sub> DENGAN  
MENGUNAKAN METODE  
*FIXED PRESSURE* DAN *FIXED VOLUME***

**SKRIPSI**

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

**RENTA ULY. P**

**0906604395**

**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI S-1 EKSTENSI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Makalah Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Renta Uly. P

NPM : 0906604395

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2012





## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Renta Uly. P  
NPM : 0906604395  
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Ketidakpastian Pengukuran Kesetimbangan Adsorpsi Gas Metana dan CO<sub>2</sub> Dengan Menggunakan Metode *Fixed Pressure* dan *Fixed Volume*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.Sc, Ph. D (  )  
Penguji : Prof. Dr. Ir. Widodo. W. P, DEA (  )  
Penguji : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng (  )  
Penguji : Dr. Tania Surya Utami, ST.,MT (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Rabu, 27 Juni 2012

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan seminar ini. Laporan seminar ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat pencapaian gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia. Kontribusi nyata yang saya terima dari berbagai pihak membantu saya dalam menyelesaikan perkuliahan hingga saat ini menyelesaikan seminar. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih juga kepada :

1. Ir. Mahmud Sudibandriyo, M.sc. Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah membantu dan mengarahkan dalam penyusunan laporan seminar ini secara komprehensif.
2. Ir. Setadi M.Eng, selaku dosen pembimbing akademik penulis.
3. Orang tua dan keluarga atas dukungan doa, kasih dan material selama penulis menyusun laporan seminar ini.
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Ekstensi angkatan 2009 atas dukungan dan kebersamaan yang telah terjalin selama ini.
5. Seluruh pihak yang telah berkontribusi dan membantu proses penyusunan laporan seminar ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga laporan seminar ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu keteknikan dan kepada berbagai pihak yang berkepentingan.

Depok, Juni 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Renta Uly  
NPM : 0906604395  
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik UI  
Jenis karya : Skripsi

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

**“Ketidakpastian Pengukuran Kesetimbangan Adsorpsi Gas Metana dan CO<sub>2</sub> Dengan Menggunakan Metode *Fixed Pressure* dan *Fixed Volume*”**

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 : Kampus baru UI, Depok

Pada tanggal : Rabu, 04 Juli 2012

Yang menyatakan



(Renta Uly. P)

## ABSTRAK

Nama : Renta Uly  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Ketidakpastian Pengukuran Keseimbangan Adsorpsi Gas Metana dan CO<sub>2</sub> Dengan Menggunakan Metode *Fixed Pressure* dan *Fixed Volume*

Uji adsorpsi gas biasanya dilakukan pada temperatur konstan serta menggunakan metode baik volumetrik, gravimetrik maupun kromatografik dengan mempergunakan berbagai jenis peralatan. Pengukuran yang bervariasi ini terkadang menghasilkan nilai adsorpsi yang berbeda-beda dan tidak seluruhnya terjamin keakuratannya. Ketidakpastian dalam suatu variable pengukuran akan berpengaruh secara langsung terhadap ketidakpastian dari hasil akhir pengukuran tersebut. Dalam penulisan skripsi ini, akan dianalisa ketidakpastian pengukuran keseimbangan adsorpsi isoterm gas metana dan CO<sub>2</sub> pada batubara, zeolit dan karbon aktif dengan teknik volumetrik menggunakan pengukuran terhadap tekanan tetap dan volume tetap. Kedua metode tersebut berbeda dalam hal menginjeksikan gas ke dalam sel keseimbangan adsorpsi. Dalam penelitian ini dilakukan uji coba dengan menaikan % kesalahan dari variabel pengukuran  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{void}$  dan  $\Delta Z$  terhadap percobaan adsorpsi gas metana dan CO<sub>2</sub>. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa variabel yang paling berpengaruh terhadap *Error Gibbs* hasil percobaan yaitu pada pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) yang ditunjukan oleh nilai ketidakpastian yang paling besar yaitu sebesar 3,79% sampai 6,89% pada metode tekanan tetap dan 24,76% sampai 246,76% pada metode volume tetap. Besarnya % kesalahan pada metode volume tetap dipengaruhi oleh jumlah volume *dozing* yang cukup besar sehingga *Error Gibbs* yang dihasilkan relatif besar. Dengan demikian metode tekanan tetap merupakan metode yang lebih baik dibanding dengan metode volume tetap karena dapat memberikan angka ketidakpastian pengukuran adsorpsi yang lebih kecil.

Kata Kunci : Ketidakpastian Pengukuran, Keseimbangan Adsorpsi, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>.

## ABSTRACT

Name : Renta Uly  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Uncertainties for Measuring Equilibrium Adsorption of Methane and CO<sub>2</sub> Using The *Fixed Pressure* and *Fixed Volume* Method

Measuring of gas adsorption are usually performed at constant temperature and experimental methods using a volumetric, gravimetric, and chromatographic techniques with the various types of equipment. This measurements varies sometimes have a difference of produce adsorption value and not all of guaranteed for accurate. Uncertainty on measurement variable will affect directly to the uncertainty in final result of such measurements. In writing this essay , will be analyze uncertainties for measuring equilibrium isotherm adsorption of methane dan CO<sub>2</sub> in Coal, Zeolite, and Active Carbon based on volumetric method referred to as fixed pressure and fixed volume. These two methods differ in the manner in which the gas is injected into the equilibrium cell for adsorption. In this paper case studies with increasing % error from measurement variables  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{\text{void}}$  and  $\Delta Z$  on the methane and CO<sub>2</sub>. The results of experiment prove that the most variable influence on the *Error Gibbs* indicate that the pressure which the large experimental error amount of 3,79% to 6,89% on fixed pressure method and 24,76% to 246,76% on fixed volume method. A bigness of % error on the fixed volume method because of large in amount dozing volume so result of *Error Gibbs* relative large. Thus, the fixed pressure is better than fixed volume because can give a smaller uncertainty value for measuring adsorption.

Key words: Experimental Uncertainties, Equilibrium Adsorption, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>.



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 .....</b>	<b>6</b>
2.1 Coal-Bed Methane (CBM).....	6
2.1.1 Upaya Peningkatan Produksi CBM .....	6
2.1.2 Reservoir Coal-Bed Methane.....	7
2.2 Adsorpsi .....	8
2.2.1 Jenis – Jenis Adsorpsi .....	9
2.2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	12
2.3 Keseimbangan Adsorpsi .....	14
2.3.1 Isoterm Adsorpsi Gibbs .....	15
2.3.2 Hubungan Antara Isoterm Adsorpsi Gibbs dengan Isoterm Adsorpsi Absolut.....	17
2.4 Teknik–Teknik Pengukuran Adsorpsi .....	19
2.5 Teori Ketidakpastian Dalam Pengukuran .....	23
<b>BAB 3 .....</b>	<b>25</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 Tahap-Tahap Penelitian .....	26

3.2.1 Tahap I : Pengumpulan Data Pengukuran Adsorpsi Gas Dari Literatur.....	26
3.2.2 Tahap II : Input Data Adsorpsi Dari Literatur Ke Dalam Penurunan Matematis Persamaan Ketidakpastian Pengukuran.....	27
3.2.3 Tahap III : Penentuan Harga Ketidakpastian dari Variabel : $\Delta P$ , $\Delta V$ , $\Delta T$ dan $\Delta Z$ .....	29
3.2.4 Tahap IV : Ketidakpastian Pengukuran Di Setiap Titik Isoterm Adsorpsi.....	29
3.2.5 Tahap V : Plot Grafik Data Percobaan dan Ketidakpastian.....	29
3.2.6 Tahap VI : Perbandingan Antara Volume Konstan dan Tekanan Konstan.....	29
<b>BAB 4</b> .....	<b>30</b>
4.1 Kesalahan Pengukuran Adsorben Gibbs pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	30
4.1.1 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Tekanan ( $\Delta P$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	32
4.1.2 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Volume ( $\Delta V$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	36
4.1.3 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Temperatur ( $\Delta T$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	40
4.1.4 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Void Volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	45
4.1.5 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Faktor Kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	49
4.1.6 Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Paling Dominan pada Percobaan dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	53
4.2 Kesalahan Pengukuran Adsorben Gibbs pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	54
4.2.1 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Tekanan ( $\Delta P$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	56
4.2.2 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Volume ( $\Delta V$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	60
4.2.3 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Temperatur ( $\Delta T$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	64
4.2.4 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Void Volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	68
4.2.5 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Faktor Kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) Pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	72
4.2.6 Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Paling Dominan pada Percobaan dengan <i>Fixed Volume</i> .....	76
<b>BAB 5</b> .....	<b>78</b>
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>79</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Sumur Injeksi dan Sumur Produksi pada ECBM .....	7
Gambar 2.2 Adsorpsi Gas Material Berpori Kondisi Kesetimbangan.....	15
Gambar 2.3 Adsorpsi Isotermis Gibbs .....	16
Gambar 2.4 Isoterm Adsorpsi Gas.....	17
Gambar 2.5 Skema Alat Uji Adsorpsi pada Metode Volume Konstan.....	20
Gambar 2.6 Skema Diagram Peralatan Tekanan Konstan .....	20
Gambar 2.7 Alat Pengukuran Gravimetrik .....	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 4.1 Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon Terhadap <i>Error Bar</i> Dari Percobaan Menggunakan <i>Fixed Pressure</i> .....	31
Gambar 4.2 Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> pada Batubara Illinois Terhadap <i>Error Bar</i> Dari Percobaan Menggunakan <i>Fixed Pressure</i> .....	32
Gambar 4.3 Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	34
Gambar 4.4 Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	36
Gambar 4.5 Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	38
Gambar 4.6 Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed pressure</i> .....	40
Gambar 4.7 Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	42
Gambar 4.8 Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	44
Gambar 4.9 Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	47
Gambar 4.10 Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	48
Gambar 4.11 Kenaikan % $\Delta Z$ Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	51

Gambar 4.12 Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	53
Gambar 4.13 Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi gas CH <sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K Terhadap <i>Error Bar</i> Dari Percobaan Menggunakan <i>Fixed Volume</i> .....	55
Gambar 4.14 Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi gas CO <sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K Terhadap <i>Error Bar</i> Dari Percobaan Menggunakan <i>Fixed Volume</i> .....	55
Gambar 4.15 Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Volume</i> .....	57
Gambar 4.16 Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan <i>Fixed Volume</i> .....	59
Gambar 4.17 Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Volume</i> .....	61
Gambar 4.18 Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan <i>Fixed Volume</i> .....	63
Gambar 4.19 Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Volume</i> .....	65
Gambar 4.20 Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan <i>Fixed Volume</i> .....	67
Gambar 4.21 Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Volume</i> .....	69
Gambar 4.22 Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan <i>Fixed Volume</i> .....	71
Gambar 4.23 Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Volume</i> .....	73
Gambar 4.24 Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan <i>Fixed Volume</i> .....	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Karakteristik Reservoir Gas Konvensional dan CBM .....	7
Tabel 2.2 Keuntungan dan Kerugian Gas Metana (CBM) .....	8
Tabel 2.3 Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia.....	12
Tabel 3.1 Database Adsorption <i>Fixed Pressure</i> .....	25
Tabel 3.2 Database Adsorption <i>Fixed Volume</i> .....	25
Tabel 4.1 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 318 K.....	33
Tabel 4.2 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 328 K.....	33
Tabel 4.3 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dari Batubara Illinois #6 .....	35
Tabel 4.4 Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta P$ pada Sistem Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	35
Tabel 4.5 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 318 K.....	37
Tabel 4.6 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 328 K.....	37
Tabel 4.7 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> pada Batubara Beulah Zap .....	39
Tabel 4.8 Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V$ pada Sistem Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	39
Tabel 4.9 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 318 K .....	41
Tabel 4.10 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CH <sub>4</sub> pada Active Carbon T = 328K.....	42
Tabel 4.11 Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> pada Batubara Wyodak.....	43
Tabel 4.12 Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta T$ pada Sistem Adsorpsi Gas CO <sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	44

Tabel 4.13	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Active Carbon T = 318 K .....	46
Tabel 4.14	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Active Carbon T = 328 K .....	46
Tabel 4.15	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Batubara Upper Freeport .....	48
Tabel 4.16	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	48
Tabel 4.17	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Active Carbon T = 318 K.....	50
Tabel 4.18	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Active Carbon T = 328 K .....	50
Tabel 4.19	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Batubara Pocahontas .....	52
Tabel 4.20	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ dengan Menggunakan Percobaan <i>Fixed Pressure</i> .....	52
Tabel 4.21	Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Percobaan Dengan <i>Fixed Pressure</i> .....	54
Tabel 4.22	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Zeolit Alam Malang T=303K .....	56
Tabel 4.23	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ .....	57
Tabel 4.24	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Zeolit Alam Malang T= 303 K.....	58
Tabel 4.25	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta P$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ .....	59
Tabel 4.26	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Zeolit Alam Malang T = 303K.....	60
Tabel 4.27	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ .....	61

Tabel 4.28	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Zeolit Alam Malang $T=303\text{K}$ .....	62
Tabel 4.29	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ .....	63
Tabel 4.30	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Zeolit Alam Malang $T=303\text{K}$ .....	64
Tabel 4.31	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ .....	65
Tabel 4.32	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Zeolit Alam Malang $T=303\text{K}$ .....	66
Tabel 4.33	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta T$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ .....	67
Tabel 4.34	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Zeolit Alam Malang $T=303\text{K}$ .....	68
Tabel 4.35	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ ...	69
Tabel 4.36	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Zeolit Alam Malang $T=303\text{K}$ .....	70
Tabel 4.37	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta V_{\text{void}}$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ .....	71
Tabel 4.38	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ pada Zeolit Alam Malang $T= 303\text{K}$ .....	72
Tabel 4.39	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$ .....	73
Tabel 4.40	Persentase <i>Error Gibbs</i> Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> Dari Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ pada Zeolit Alam Malang $T= 303\text{K}$ .....	74
Tabel 4.41	Persentase <i>Error Gibbs</i> Rata-Rata Terhadap Kenaikan $\Delta Z$ untuk Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> pada Sistem Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$ .....	75
Tabel 4.42	Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Percobaan Dengan <i>Fixed Volume</i> .....	76

## DAFTAR SIMBOL

$n^{\text{Gibbs}}$	Jumlah gas yang teradsorpsi
$n_{\text{unads}}$	Jumlah gas yang tidak teradsorpsi
$n_{\text{injected}}$	Jumlah gas yang diinjeksikan ke dalam dozing cilinder
$n^{\text{abs}}$	Jumlah gas teradsorpsi yang tidak pernah dapat terukur secara percobaan
$V_{\text{void}}$	Volume kosong yang terdapat pada adsorpsi <i>cell</i>
$V_{\text{ads}}$	Volume gas fase teradsorpsi
$\rho_{\text{gas}}$	Densitas gas
$\rho_{\text{ads}}$	Densitas dalam fasa teradsorpsi
$L$	Jumlah sampel adsorben yang dimasukkan dalam cell atau sampling silinder (gram)
$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$	<i>Error</i> adsorpsi <i>Gibbs</i>
$\sigma_{n_{\text{ads}}}$	Ketidakpastian jumlah gas yang diadsorpsi
$\sigma_L$	Ketidakpastian terhadap jumlah sampel di dalam <i>cell</i> silinder, diasumsikan menjadi 0,1 gram
$\sigma_{n_{\text{inj}}}$	Ketidakpastian yang menentukan densitas gas ( $\rho$ ) serta ketidakpastian volume gas yang diinjeksikan
$\sigma_{n_{\text{unads}}}$	Ketidakpastian gas yang tidak teradsorpsi pada <i>cell</i>
$\sigma_V$	Ketidakpastian volume gas yang diinjeksikan, diasumsikan 0,02 cm <sup>3</sup> sebagai <i>basic case</i> pada tiap percobaan variabel
$\sigma_\rho$	Ketidakpastian terhadap densitas yang dinyatakan dalam penurunan rumus dari $\rho = \frac{P}{ZRT}$
$\sigma_{V_{\text{void}}}$	Ketidakpastian void volume, diasumsikan sebesar 0,3 cm <sup>3</sup> sebagai <i>basic case</i> pada tiap percobaan variabel
$\sigma_Z$	Akurasi terhadap faktor kompresibilitas



$\sigma_T$	Ketidakpatian terhadap temperatur yang diestimasi sebesar 0,1 K sebagai <i>basic case</i> pada tiap percobaan variabel
$\sigma_P$	Ketidakpatian terhadap tekanan yang diestimasi sebesar 1 Psia sebagai <i>basic case</i> pada tiap percobaan variabel
$P_i$	Tekanan awal <i>dozing</i>
$P_f$	Tekanan akhir <i>dozing</i>
$V_i$	Volume awal <i>dozing</i> cylinder
$V_f$	Volume akhir <i>dozing</i> cylinder
$\rho_i$	Densitas <i>dozing</i> awal
$\rho_f$	Densitas <i>dozing</i> akhir
$\rho_{cell}$	Densitas didalam <i>cell</i>
$Z_i$	Faktor Kompresibilitas awal
$Z_f$	Faktor Kompresibilitas akhir
R	Konstanta gas (Psi.cm <sup>3</sup> /mol <sup>o</sup> R)
K	Kelvin
$\Delta P$	Ketelitian terhadap pengukuran tekanan, dimana semakin besar harga $\Delta P$ menunjukkan bahwa <i>pressure transducer</i> yang digunakan semakin tidak teliti
$\Delta V$	Ketelitian terhadap pengukuran volume, dimana semakin besar harga $\Delta V$ menunjukkan bahwa alat pengukuran volume yang digunakan semakin tidak presisi
$\Delta T$	Ketelitian terhadap pengukuran temperatur, dimana semakin besar harga $\Delta T$ menunjukkan bahwa alat pengukuran temperature (termokopel) yang digunakan semakin tidak teliti sehingga dapat diganti dengan alat yang tingkat ketelitiannya lebih tinggi seperti termometer
$\Delta V_{void}$	Ketelitian terhadap pengukuran void volume, dimana semakin besar harga $\Delta V_{void}$ memilih alat pengukuran void volume yang digunakan semakin tidak presisi
$\Delta Z$	Ketelitian terhadap pengukuran faktor kompresibilitas, dimana semakin besar harga $\Delta Z$ menunjukkan bahwa model korelasi yang digunakan semakin tidak presisi

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Kebutuhan energi nasional di masa mendatang diperkirakan akan berlipat ganda dengan rata-rata pertumbuhan energi tahunan yang cukup tinggi, tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri (domestik), tetapi permintaan batubara dari negara-negara pengimpor mengakibatkan produksi akan semakin meningkat pula. Hal ini mengingat sumber energi minyak bumi kian menipis persediannya dengan harga BBM yang tetap tinggi, akan mengganggu stabilitas pembangunan negara.

Untuk mengantisipasi kebutuhan energi nasional yang semakin meningkat tersebut perlu dicari sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi alternatif yang berpotensi sangat besar di Indonesia adalah Coalbed Metane (CBM) yang diidentifikasi memiliki 11 cekungan batubara sekitar 61,366 miliar ton, terutama di pulau Kalimantan dan Sumatera. Terkait hal tersebut, pemerintah mengeluarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN) melalui PP No.5 Tahun 2006 sebagai pembaruan Kebijaksanaan Umum Bidang Energi (KUBE) tahun 1998 dengan tujuan utama untuk menciptakan keamanan pasokan energi nasional secara berkelanjutan dan pemanfaatan energi secara efisien, serta terwujudnya bauran energi (energi primer) yang optimal pada tahun 2025 (Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2006). Dengan adanya kebijakan tersebut, pemanfaatan CBM di Indonesia semakin ditingkatkan dengan menuntut industri yang selama ini berbahan bakar minyak untuk beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar alternatif. Maka dari itu, di masa yang akan datang diharapkan ketergantungan pada satu jenis sumber energi seperti BBM akan berkurang dan kebutuhan energi Indonesia terhadap CBM akan meningkat.

Coalbed Metane (CBM) adalah gas metana ( $CH_4$ ) yang terkandung di dalam batubara yang terperangkap dalam micropore atau pori-pori batubara melalui proses microbial (biogenic) atau panas (thermogenic) selama proses pembentukan batubara. Dengan letak CBM yang jauh di dalam bumi sekitar 500-1500 m dan kandungan gas metana yang tinggi, sulit untuk dilakukan

penambangan batubara karena akan membahayakan para penambangan didaerah tersebut. Beberapa kendala pada saat dilakukannya penelitian CBM ini diantaranya yaitu kompleksitas stuktur batubara dan karakteristik yang berbeda antara sumber batubara satu dengan batubara yang lainnya, efek dari sifat batubara pada perilaku adsorpsi, tekanan relatif rendah yang mungkin tidak mewakili kondisi lapisan batubara yang sebenarnya, dan terdapat kandungan air dalam batubara (Meyers, 1982; Deng-Feng Zhang, dkk, 2011).

Kapasitas kandungan gas metana di dalam CBM dapat diketahui, standar yang umum dilakukan adalah dengan cara uji adsorpsi. Dimana uji adsorpsi gas biasanya dilakukan pada temperatur tetap/konstan serta menggunakan metode baik volumetrik, gravimetrik maupun kromatografik dengan mempergunakan berbagai jenis peralatan. Bahkan ada yang menggunakan kombinasi metode volumetrik-kromatografi untuk mengukur kesetimbangan gas adsorpsi dimana masing-masing terdapat kelebihan dan kelemahan (J.U Keller, F. Dreisbach, dkk, 1999). Pengukuran yang bervariasi ini terkadang menghasilkan nilai adsorpsi yang berbeda-beda dan tidak seluruhnya terjamin keakuratannya. Hal ini disebabkan karena berbagai faktor seperti perlakuan pada saat melakukan percobaan pengukuran, kondisi peralatan, dan lain-lain, sehingga bisa menyebabkan kesalahan dalam memperkirakan potensi ekonomis CBM. Maka dari itu diperlukan adanya perhitungan mengenai ketidakpastian dalam pengukuran kapasitas adsorpsi batubara (CBM). Ketidakpastian dalam suatu variable pengukuran akan berpengaruh secara langsung terhadap ketidakpastian dari hasil akhir pengukuran tersebut.

Pengukuran memegang peranan penting sekali dalam pertumbuhan dan perkembangan ilmu murni dan terapan. Mengukur jumlah gas yang teradsorpsi pada temperatur dan tekanan yang berbeda sangat sulit untuk dianalisis. Makin kecil ketidakpastian hasil pengukuran, maka makin tepat pengukuran tersebut. Para peneliti sering menggunakan adsorpsi “mutlak” sebagai estimasi jumlah gas di *reservoir*, sedangkan untuk hasil pengukuran adsorpsi diperoleh dalam bentuk *excess adsorption* (*Gibbs Adsorption*). Dengan demikian, ketidakpastian pengukuran adsorpsi juga bisa dinyatakan dalam bentuk adsorpsi mutlak ataupun adsorpsi Gibbs. Peneliti sebelumnya (Sayed Mohammad, 2009) telah melakukan

percobaan dengan metode pada volumetrik tekanan tetap di Oklohama State University (OSU). Variable utama ketidakpastian yang diukur antara lain yaitu tekanan, volume dan suhu.

Dalam penulisan skripsi ini, akan dianalisa ketidakpastian pengukuran kesetimbangan adsorpsi isoterm gas metana dan CO<sub>2</sub> pada batubara, zeolit dan karbon aktif dengan teknik volumetrik menggunakan pengukuran terhadap volume tetap (fix-volume) dan tekanan tetap (fix-pressure). Kedua metode tersebut berbeda dalam hal menginjeksikan gas ke dalam sel kesetimbangan adsorpsi. Analisa ketidakpastian pengukuran adsorpsi CO<sub>2</sub> pada batubara juga dilakukan karena adsorpsi CO<sub>2</sub> ini juga sering digunakan dalam proses produksi CBM untuk peningkatan produksi lanjutan (Enhanced Gas Recovery). Dengan cara Enhanced Gas Recovery ini, CO<sub>2</sub> disuntikkan ke dalam lapisan batubara atau ke bagian bawah tanah sehingga akan merembes ke batubara dan mengeluarkan metana.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pengukuran adsorpsi menghasilkan data beragam yang akan berdampak pada hasil pengukuran yang tidak seluruhnya terjamin ketepatannya, dengan kata lain tidak sepenuhnya tepat tanpa suatu ketidakpastian atau kesalahan. Maka dari itu wajib mengetahui sejauh mana hasil pengukuran dapat dipercaya. Besar kecilnya ketidakpastian menyatakan tingkat kepercayaan yang dapat diberikan dari hasil pengukuran, sehingga perkiraan akan potensi ekonomis CBM dapat diperhitungkan. Dengan rumusan masalah yaitu sejauh mana ketidakpastian didalam setiap variabel pengukuran berkontribusi didalam nilai ketidakpastian dari pengukuran adsorpsi yang diperoleh? Disamping itu karena didalam pengukuran adsorpsi digunakan dua metode yaitu metode volume tetap (fix-volume) dan tekanan tetap (fix-pressure) maka perlu juga dibandingkan metode manakah yang paling bagus digunakan yang memberikan ketidakpastian pengukuran jumlah adsorpsi paling kecil?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditujukan untuk:

- Melakukan analisis estimasi ketidakpastian dan pengaruhnya dari variabel ketelitian dalam pengukuran utama seperti : tekanan, volume dan suhu.
- Menyelidiki faktor-faktor paling dominan yang berkontribusi dalam ketidakpastian dari jumlah gas yang teradsorpsi sehingga kesalahan dapat diminimalisasi.
- Melakukan perbandingan nilai ketidakpastian pada pengukuran dengan metode volume tetap (fix-volume) dan tekanan tetap (fix-pressure).

### 1.4 Batasan Penelitian

Ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini adalah :

1. Estimasi ketidakpastian pengukuran adsorpsi dilakukan dengan metode analitis.
2. Data adsorpsi isothermal metana dan CO<sub>2</sub> pada batubara berasal dari literatur atau data yang diperoleh di Laboratorium DTK – FTUI.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan terdiri dari :

#### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang permasalahan secara umum yang mencakup latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

#### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang teori-teori yang mendukung penelitian serta hasil penelitian orang lain atau yang berasal dari literatur sebagai acuan khusus.

#### BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi yang dipakai dalam penelitian yang mencakup tahapan-tahapan penelitian yaitu mulai dari metode pengumpulan data hingga pengolahan data. Bagian ini juga menjelaskan diagram alir penelitian dan prosedur percobaan.

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini dilakukan pembahasan terhadap hasil pengolahan data yang sudah dilakukan beserta gambar grafiknya yang diperoleh dari hasil regresi pengolahan data. Kemudian membahas tentang hasil dari representasi data yang sudah dilakukan.

## BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi tentang rangkuman poin-poin penting dari hasil dan pembahasan sehingga tercapai tujuan dari penelitian yang diharapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

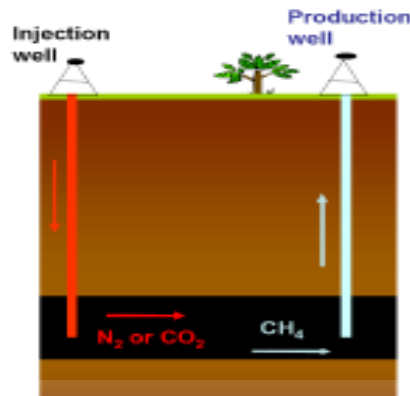
#### 2.1 *Coal-Bed Methane (CBM)*

*Coal-bed Methane (CBM)* atau *Coal seam Methane (CBM)* merupakan gas metana yang ditemukan didalam lapisan (*seam*) batubara dan merupakan salah satu sumber daya energi bersih lingkungan yang telah dimanfaatkan di berbagai negara. Coalbed Methane (CBM) adalah gas metana ( $\text{CH}_4$ ) yang terkandung di dalam batubara yang terperangkap dalam micropore atau pori-pori batubara melalui proses microbial (biogenic) atau panas (thermogenic) selama proses pembentukan batubara. Adapun gas lain yang ditemukan dalam *coalbed* yaitu gas etana, propana, butana, karbondioksida dan nitrogen. Didalam lapisan batubara, seringkali, jenuh oleh air sehingga gas metana tertahan pada lapisan batubara akibat tekanan hidrostatik air yang dapat mengurangi efisiensi pembakaran.

Indonesia sendiri memiliki 11 cadangan dengan total potensi CBM sebesar 453 TCF, dengan cadangan terbesar di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Coalbed methane (CBM) terbentuk dengan beberapa tahapan yang akan dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

##### 2.1.1 **Upaya Peningkatan Produksi CBM**

Pada awal produksinya, CBM diperoleh setelah *dewatering*, yaitu proses pemompaan air di dalam lapisan batubara keluar permukaan tanah. *Dewatering* dilakukan untuk mengurangi tekanan hidrostatik air yang ada pada lapisan batubara. Tekanan hidrostatik pada lapisan batubara menghambat/menahan laju pergerakan gas metana sehingga dengan tekanan hidrostatik yang besar maka sulit untuk CBM berpindah keluar ke permukaan. Akan tetapi *dewatering* ini hanya efektif untuk mengambil CBM yang berada pada makropori atau rekahan saja. Karena sebagian besar gas metana teradsorpsi pada permukaan batubara, maka diperlukan suatu upaya lebih untuk men-desorpsi dan men-difusi gas metana keluar dari lapisan batubara. Upaya ini dinamakan *Enhanced Coal-Bed Methane Recovery (ECBM)*. Seperti pada Gambar 2.1, salah satu metode ECBM ini adalah dengan cara menginjeksi gas ke dalam reservoir CBM melalui sumur injeksi.



**Gambar 2.1** Skema Sumur Injeksi dan Sumur Produksi Pada ECBM (Saghafi, 2005)

### 2.1.2 *Reservoir Coal Bed Methane*

Karakteristik reservoir CBM berbeda dari gas konvensional pada berbagai tempat. Perbedaan tersebut dapat dilihat dalam table 2.1:

**Table 2.1** Perbandingan Antara Karakteristik Reservoir Gas Konvensional dan CBM  
(K. Aminian, 2003)

Karakteristik	Konvensional	CBM
Produksi Gas	Gas yang dihasilkan pada sumber batuan dan bermigrasi ke reservoir	Gas dihasilkan dan terperangkap diantara batubara
Struktur	Rekahan/retakan yang tak beraturan	Cleats yang sama besar
Mekanisme penyimpanan Gas	Kompresi	Adsorpsi
Performansi Produksi	Laju gas mulai meningkat kemudian menurun, awalnya terdapat sedikit atau tidak ada air. GWR (Ground Water Recharge) menurun seiring dengan waktu	Laju meningkat dengan waktu kemudian menurun. Awalnya terdapat banyak air. GWR (Ground Water Recharge) meningkat seiring dengan waktu
Sifat-sifat Fisika	Modulus Young $\sim 10^6$ , kompresibilitas pori $\sim 10^{-6}$	Modulus Young $\sim 10^5$ , kompresibilitas pori $\sim 10^{-4}$

Gas pada batubara terdapat pada makropori atau sebagai lapisan teradsorpsi pada permukaan dalam mikropori batubara. Mikropori batubara adalah tempat penyimpanan gas metana dalam jumlah besar. Jadi, batubara dapat menyimpan gas jauh lebih banyak dibandingkan pada reservoir gas konvensional



yang terkompresi pada tekanan di bawah 1000 psia. Adapun beberapa keuntungan dan kerugian dari gas metana batubara dapat dilihat pada tabel 2.2 sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Keuntungan dan Kerugian dari Gas Metana Batubara (CBM)

<b>Keuntungan CBM</b>	<b>Kerugian CBM</b>
Memberikan jaminan pasokan gas terhadap pasokan pasar-pasar utama	Memerlukan area yang luas di permukaan
Memungkinkan cara pengembangan lapangan bertahap	Memerlukan biaya pembungan dan penangan air
Produksi yang lama	Bertekanan rendah sehingga memerlukan jumlah sumur-sumur yang banyak
Lokasi di sumur-sumur dangkal di darat	Biaya operasi & pengembangan sumur lebih tinggi
Berpotensi untuk penyimpanan permanen CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> <i>sequestration</i> )	Produksi awal yang rendah

Untuk memperkirakan kandungan gas metana di dalam suatu *coalbed methane* maupun untuk keperluan simulasi produksi gas metana perlu dilakukan uji adsorpsi gas pada jenis batubara yang ada di dalam CBM tersebut.

## 2.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa terikatnya molekul atau partikel pada suatu permukaan zat penyerap yang disebut adsorben, sedang absorpsi adalah penyerapan dari adsorbat kedalam adsorben dimana ini disebut dengan fenomena sorption. Materi atau partikel yang diadsorpsi disebut adsorbat, sedang bahan yang berfungsi sebagai pengadsorpsi disebut adsorben. Partikel-partikel kecil zat penyerap ditempatkan didalam suatu hamparan tetap (*fixed bed*) dan fluida dialirkan melalui hamparan tersebut sampai adsorben itu mendekati jenuh dan penyerapan yang diinginkan tidak dapat berlangsung (Mc Cabe, *et al*, 1999).

Permukaan padatan yang kontak dengan suatu larutan cenderung untuk menghimpun lapisan dari molekul-molekul zat terlarut pada permukaannya akibat

ketidakseimbangan gaya-gaya pada permukaan. Ketidakseimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat cenderung menarik zat-zat lain atau gas yang bersentuhan dengan permukaannya. Fenomena konsentrasi zat/fluida pada permukaan padatan disebut fasa teradsorpsi atau zat yang teradsorpsi disebut juga adsorbat.

Ding dan Bhatia (2003) mengamati bahwa proses adsorpsi pada adsorbent terjadi pada pori-pori kecilnya (*micropore*), sementara itu, *macropore* hanya berperan sebagai tempat transfer adsorbat dari permukaan luar ke *micropore*. Daya serap adsorben terhadap gas tergantung pada jenis adsorbat, karakteristik adsorben, suhu dan tekanan. Adsorpsi pada permukaan zat padat menyebabkan terjadinya kesetimbangan antara gas yang terserap dengan gas sisa yang tidak terserap (*unadsorp*). Oleh karena itu, daya serap adsorben dipengaruhi oleh besarnya tekanan dan suhu. Unsur-unsur dengan berat molekul yang lebih besar akan lebih mudah diadsorpsi. Semakin besar tekanan, semakin banyak pula gas yang diserap dan sebaliknya, apabila temperatur tinggi maka akan semakin sulit gas itu terserap. Kemampuan adsorpsi gas pada permukaan adsorben akan meningkat seiring dengan pertambahan tekanan sistem karena secara faktanya penambahan tekanan meningkatkan gaya tarik Van Der Waals antara molekul gas dan molekul adsorben. Penurunan suhu juga dapat meningkatkan daya adsorpsi gas dari adsorben karena penurunan temperatur meningkatkan pelepasan panas dari sistem sehingga dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi dari adsorben (Rasoolzadeh, *et al*, 2008).

### **2.2.1 Jenis – Jenis Adsorpsi**

Berdasarkan sifat interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua bagian, yaitu adsorpsi fisika (disebabkan oleh gaya Van Der Waals) dan adsorpsi kimia.

### a. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi secara fisika terjadi apabila daya tarik menarik antara zat terlarut dengan adsorben (gaya inter molekular) lebih besar dari daya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya (gaya antar molekul), maka zat yang terlarut akan diadsorpsi pada permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya Van der Waals. Dapat dikatakan bahwa adsorpsi fisika dipengaruhi oleh dua gaya yaitu gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat. Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya inter molekular adalah gaya tarik antarmolekul-molekul fluida itu sendiri.

Adsorpsi ini mirip dengan proses kondensasi dan biasanya terjadi pada temperatur rendah. Keseimbangan antara permukaan solid dengan molekul fluida bersifat *reversible* sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk suatu kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat tercapai dan mekanismenya tergantung dari ukuran molekul adsorbat yang dibandingkan dengan lebar pori adsorben, hal ini berhubungan dengan interaksi antara adsorbat dan pori-pori. Mula-mula molekul adsorbat terserap pada pori-pori adsorben yang memiliki energi sangat besar, dengan mengabaikan efek aktivasi difusi, proses adsorpsi dilanjutkan dengan pengisian pori-pori adsorben sehingga energi adsorpsi yang digunakan menurun.

Semua proses adsorpsi fisik bersifat eksotermik yang dikarenakan penarikan molekul adsorbat ke dalam pori adsorben. Hal ini juga menyebabkan entropi berkurang sesuai dengan persamaan:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (2.1)$$

Dikarenakan adsorpsi fisik bersifat isotermis, maka bila temperatur dinaikkan maka jumlah gas yang terserap akan berkurang, hal ini sesuai dengan prinsip Le Chatelier. Untuk kasus adsorpsi fisik yang disertai aktivasi difusi, hipotesa ini tidak berlaku.

Panas yang dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisik pada umumnya rendah (20–40 kJ/mol) dan terjadi pada temperatur rendah yaitu dibawah temperatur didih adsorbat. Hal ini menyebabkan adsorpsi fisik bersifat *reversible* dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisik dapat terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga proses tersebut

akan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputus dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150-200°C selama 2-3 jam.

#### **b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)**

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dan adsorben. Adsorpsi jenis ini melibatkan transfer elektron antara adsorben dan adsorbat dengan membentuk ikatan kimia, sehingga menyebabkan adanya adhesi pada molekul adsorben.

Menurut Langmuir, molekul teradsorpsi ditahan pada permukaan oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Karena adanya ikatan kimia yang kuat maka pada permukaan adsorbent akan terbentuk suatu lapisan atau layer, dimana terbentuknya lapisan tersebut akan menghambat proses penyerapan selanjutnya oleh batuan adsorbent sehingga efektifitasnya berkurang.

Adsorpsi kimia bersifat spesifik dan melibatkan gaya yang jauh lebih besar daripada adsorpsi fisika. Adsorpsi ini lebih jarang terjadi bila dibandingkan dengan adsorpsi fisik dan ikatan kimia yang terbentuk menyebabkan adsorben sulit untuk diregenerasi bahkan tidak mungkin untuk digunakan lagi. Adsorpsi ini bersifat *irreversible* dan terjadi pada temperatur tinggi diatas suhu kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi, sekitar 200–400 kJ/mol, sedangkan untuk dapat terjadinya desorpsi (pada proses regenerasi) dibutuhkan energi yang lebih tinggi lagi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Adsorpsi kimia biasanya menyebabkan perubahan kimia dari adsorbat karena pada saat desorpsi fasa teradsorpsi, adsorbat mengalami proses pelepasan secara kimia.

**Tabel 2.3** Perbedaan Adsorpsi Fisik dan Kimia

<b>Parameter</b>	<b>Adsorpsi Fisik</b>	<b>Adsorpsi Kimia</b>
<b>Mekanisme</b>	Molekul terikat pada adsorben oleh gaya Van Der Waals	Molekul terikat pada adsorben oleh ikatan kimia
<b>Entalpi</b>	Entalpi reaksi rendah (20–40 kJ/mol)	Entalpi reaksi tinggi (200– 400 kJ/mol)
<b>Layer yang terbentuk</b>	Membentuk lapisan <i>multilayer</i>	Membentuk lapisan <i>monolayer</i>
<b>Temperatur operasi</b>	Adsorpsi hanya terjadi pada suhu di bawah titik didih adsorbat	Adsorpsi dapat terjadi pada suhu tinggi
<b>Fungsi adsorpsi</b>	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan fungsi adsorbat	Jumlah adsorpsi pada permukaan merupakan karakteristik adsorben dan adsorbat
<b>Kecepatan adsorpsi</b>	Besar	Kecil
<b>Energi aktivasi</b>	Tidak melibatkan energi aktivasi tertentu (kurang dari 1 kkal/gmol)	Melibatkan energi aktivasi tertentu (10–60 kkal/g-mol)
<b>Selektifitas</b>	Tidak selektif	Selektif
<b>Laju adsorpsi (T=273 K)</b>	Cepat, tidak aktif, <i>Reversible</i>	Lambat, aktif, <i>Irreversible</i>
<b>Desorpsi</b>	Mudah, dengan cara menurunkan P dan menambah T	Mudah, diperlukan T tinggi untuk memutuskan ikatan

### 2.2.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

Proses adsorpsi melibatkan dua komponen yaitu adsorbat dan adsorben, dimana keduanya sangat mempengaruhi kinerja dari proses adsorpsi tersebut. Banyaknya adsorbat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor (Bahl, *et al*, 1997; Treybal, 1980) yaitu :

#### a. Karakteristik Adsorben

Adsorben, berfungsi sebagai media untuk mengadsorpsi suatu komponen, dimana sifat adsorben ini sangat mempengaruhi kinerja dari proses tersebut. Beberapa hal mengenai adsorben yang dapat mempengaruhi kinerja proses adsorpsi diantaranya:

- Kemurnian adsorben adalah adsorben yang tidak banyak terkontaminasi oleh material lain akan memiliki kapasitas yang lebih besar, kecuali polaritas molekul adsorbatnya lebih besar dari partikel yang mengkontaminasi adsorben tersebut. Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik, hal ini menyangkut luas permukaan adsorben yang akan semakin besar apabila kadar zat pengotor yang dapat menutupi pori-pori semakin kecil.
- Jenis adsorben, mempengaruhi proses adsorpsi karena setiap jenis adsorben yang digunakan memiliki selektifitas dan respon yang berbeda terhadap suatu adsorbat.
- Porositas, sifat ini sangat menentukan performa adsorben karena dapat dianalogikan sebagai daya tampung penyerapan adsorbat.
- Sifat fisik adsorben, dikarenakan adsorben merupakan media untuk menempelnya adsorbat.
- Luas permukaan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben maka jumlah adsorbat yang terserap akan semakin banyak pula. Jumlah melokul adsorbat yang teradsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

b. Jenis Adsorbat

Dapat ditinjau dari :

- Ukuran molekul adsorbat adalah rongga tempat terjadinya adsorpsi dapat dicapai melalui ukuran yang sesuai, sehingga molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.
- Polaritas, bilamana molekul adsorben dan adsorbat memiliki ukuran yang sama, molekul-molekul polar yang lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul yang kurang polar. Molekul-molekul yang lebih polar

dapat menggantikan molekul-molekul kurang polar yang telah lebih dahulu teradsorpsi.

c. Kondisi operasi

Sudah dapat dipastikan bahwa proses adsorpsi sangat dipengaruhi juga oleh kondisi operasi, variabel yang mempengaruhi diantaranya yaitu :

▪ Tekanan

Pada adsorpsi fisika, jumlah zat yang diadsorpsi akan bertambah dengan menaikkan tekanan dari adsorbat (tekanan sistem) karena dapat memperkuat ikatan van der Waals antar molekul adsorben dan adsorbat, sebaliknya pada adsorpsi kimia, jumlah zat yang diadsorpsi akan berkurang dengan menaikkan tekanan adsorbat.

▪ Temperatur

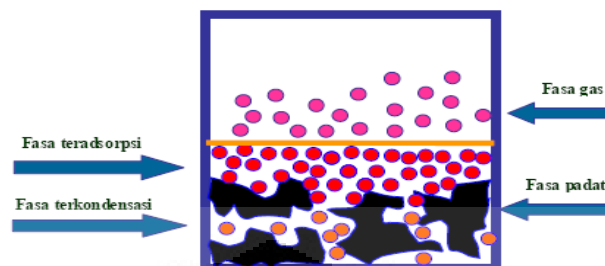
Adsorpsi merupakan proses eksotermis sehingga jumlah adsorbat akan berkurang dengan bertambahnya temperatur adsorbat pada tekanan yang tetap, sesuai dengan prinsip Le Chatelier. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas senyawa serapan.

### 2.3 Kesetimbangan Adsorpsi

Isoterm adsorpsi (*adsorption isotherm*) merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi dalam fase fluida dan konsentrasi didalam partikel adsorben pada suhu tertentu. Untuk fasa gas, biasanya dinyatakan dalam persen mol atau tekanan parsial. Untuk zat cair, konsentrasi biasanya dinyatakan dalam satuan massa, seperti bagian per satu juta (ppm). Konsentrasi adsorbat dalam zat padat dinyatakan sebagai massa zat yang teradsorpsi per satuan massa adsorben semula.

Untuk memperkirakan proses dinamika kapasitas adsorpsi diperlukan studi tentang kesetimbangan yang terjadi pada proses adsorpsi. Gambar 2.2 mengilustrasikan keadaan pada proses adsorpsi terjadi. Kesetimbangan adsorpsi meliputi aspek kemampuan/kapasitas adsorben untuk menyerap adsorbat pada kondisi tertentu (temperatur dan tekanan) dan bagaimana proses adsorpsi jika

fluida yang digunakan berupa campuran dari beberapa komponen. Beberapa ilmuwan telah banyak meneliti tentang kesetimbangan adsorpsi diantaranya Ruthven (1984) dan Myers (1988).



**Gambar 2.2** Adsorpsi Gas Pada Material Berpori pada Kondisi Kesetimbangan

Adsorpsi terjadi saat adsorben dikontakan pada fluida pada komposisi tertentu. Adsorben dan fluida adsorbat mencapai kesetimbangan antara adsorpsi dan desorpsinya. Data kesetimbangan yang dihasilkan pada temperatur yang konstan, menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi per unit massa padatan dan tekanan sistemnya (tekanan adsorbat). Adsorpsi isothermis dapat dihitung dengan mengukur tekanan adsorbat pada saat awal (sebelum terjadi kesetimbangan) dan pada saat terjadi kesetimbangan (Bahl, *et al*, 1997; Ruthven, 1993).

### 2.3.1 Isoterm Adsorpsi Gibbs

Isoterm adsorpsi Gibbs (dikenal juga sebagai *excess adsorption*) adalah isoterm adsorpsi yang menggambarkan proses adsorpsi secara eksperimen. Dalam eksperimen, jumlah zat yang tidak teradsorpsi ( $n_{unads}$ ) sama dengan jumlah molekul dalam gas, dan dapat dihitung dengan cara mengabaikan nilai dari volume gas fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben ( $V_{adsorp}$ ) karena sulitnya mengetahui volum gas dalam fasa teradsorpsi tersebut.

$$n_{unads} = \left( \frac{PV_{void}}{ZRT} \right)_{adsorption\ cell} \quad (2.2)$$

Sehingga dalam perhitungannya, adsorpsi Gibbs (eksperimen) menggunakan keseluruhan  $V_{void}$ . Sementara itu, untuk menghitung jumlah zat teradsorpsi yang sebenarnya (adsorpsi absolut) seharusnya menggunakan volume *bulk gas* ( $V_{gas}$ ) dalam menghitung jumlah zat yang tidak teradsorpsi.

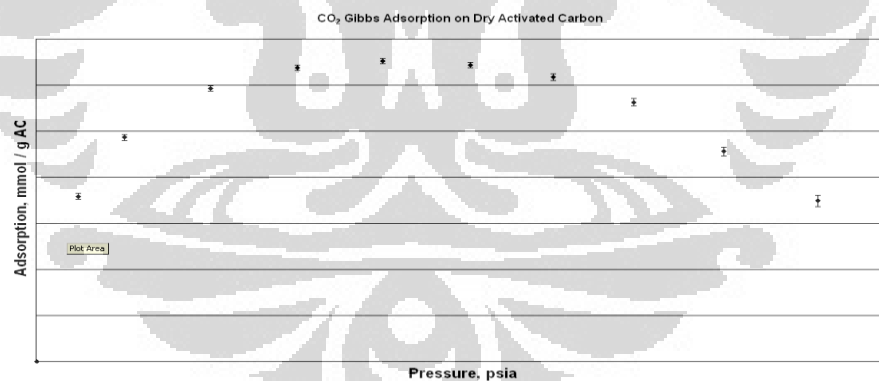


$$n^{Gibbs} = n_{injected} - n_{unads} - n_{solute} \quad (2.3)$$

$n_{solute}$  merupakan jumlah zat yang terlarut pada pelarut yang ada pada adsorben, misalnya pada adsorben yang memiliki kandungan air atau zat pelarut lainnya, namun jika adsorben merupakan adsorben kering, maka  $n_{solute}$  dapat diabaikan. Dengan demikian jumlah gas yang teradsorpsi secara eksperimen ( $n^{Gibbs}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$n^{Gibbs} = n_{injected} - \frac{PV_{void}}{Z_{gas}RT} \quad (2.4)$$

Dengan persamaan diatas  $V_{void}$  dianggap sama dengan volume kosong pada adsorpsi cell di saat sebelum terjadi adsorpsi, maka harga  $\frac{PV_{void}}{Z_{gas}RT}$  pada persamaan diatas cenderung mempunyai harga yang lebih besar dari yang seharusnya pada saat tekanan tinggi. Dimana volume gas yang teradsorpsi menjadi signifikan, akibatnya nilai  $n^{Gibbs}$  akan cenderung menurun pada tekanan yang lebih tinggi sehingga grafik isotherm adsorpsi gibbs cenderung menunjukkan adanya harga maksimum sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Adsorpsi Isotermis Gibbs

### 2.3.2 Hubungan Antara Isoterm Adsorpsi Gibbs dengan Isoterm Adsorpsi Absolut

Perbedaan mendasar antara adsorpsi Gibbs dan absolut terletak pada pendekatan perhitungan dari jumlah zat yang tidak teradsorpsi pada suatu adsorben,  $n_{unads}$ . Isoterm adsorpsi absolut adalah isoterm adsorpsi yang menggambarkan proses adsorpsi secara teori yaitu terjadinya proses adsorpsi dalam kondisi yang nyata atau seharusnya. Ketika sejumlah molekul secara terus-

menerus "menabrak" suatu permukaan dan tetap berada disana selama periode waktu tertentu sebelum terlepas kembali, konsentrasi molekul pada permukaan akan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi di fasa gas.

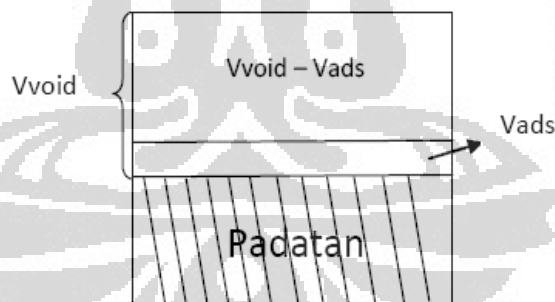
Jika ketebalan dari fasa teradsorpsi pada permukaan padatan adalah sekitar satu kali diameter partikel, maka adsorpsi ini disebut "monolayer", namun dengan kenaikan tekanan gas bisa saja menyebabkan terjadinya adsorpsi "multilayer". Jumlah gas yang teradsorpsi biasa disebut "adsorpsi absolut" yang secara teoritis dapat dituliskan sebagai:

$$n^{abs} = V_{ads} \rho_{ads} \quad (2.5)$$

Dimana  $V_{ads}$  dan  $\rho_{ads}$  adalah volume dan densitas fasa teradsorpsi.

Adsorpsi absolut ini sebetulnya adalah suatu angka hipotesis karena tidak pernah dapat terukur secara percobaan, yang terukur dari suatu percobaan sebetulnya adalah apa yang disebut sebagai "adsorpsi Gibbs" (Myers, 2002). Jika jumlah molekul gas yang dimasukkan kedalam sistem pada gambar 2.4 adalah  $n_{injected}$ , maka adsorpsi Gibbs ini dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$n^{Gibbs} = n_{injected} - \frac{PV_{void}}{Z_{gas}RT} \quad (2.6)$$



**Gambar 2.4** Isoterm Adsorpsi Gas

Sedangkan persamaan absolut dihitung berdasarkan persamaan :

$$n^{abs} = n_{injected} - \frac{P(V_{void} - V_{ads})}{Z_{gas}RT} \quad (2.7)$$

Hubungan antara adsorpsi absolut dengan adsorpsi Gibbs dapat diturunkan dari kedua persamaan diatas sebagai berikut:

$$n^{Gibbs} = n^{Abs} - V_{ads} \rho_{gas} \quad (2.8)$$

Atau

$$n^{Gibbs} = n^{Abs} \left( 1 - \frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}} \right) \quad (2.9)$$

$n^{Gibbs}$  : jumlah gas yang teradsorpsi

$n_{injection}$  : jumlah gas yang diinjeksikan ke dalam dozing cylinder

$n_{unads}$  : jumlah gas yang tak teradsorpsi

$V_{void}$  : volum kosong yang terdapat pada adsorpsi cell

$n_{solute}$  : jumlah mol gas yang larut (bila ada)

P : tekanan adsorpsi

T : temperatur adsorpsi/operasi

Z : faktor kompresibilitas

R : konstanta gas ideal

Persamaan 2.9 menunjukkan bahwa adsorpsi absolut selalu lebih besar dibandingkan adsorpsi Gibbs. Pada adsorpsi tekanan rendah (dimana densitas gas juga rendah), koreksi dari adsorpsi Gibbs ke adsorpsi absolut dapat diabaikan, namun pada tekanan tinggi koreksi ini menjadi sangat penting, bahkan harga adsorpsi gas dapat mencapai nol ketika densitas gas sama dengan densitas molekul yang teradsorpsi.

Pada tekanan rendah, profil adsorpsi absolut akan mendekati/hampir identik dengan adsorpsi Gibbs karena densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada

densitas adsorpsi) sehingga  $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$  bisa dianggap 0 dan  $n_{Gibbs}$  sama dengan  $n_{absolut}$ ,

sedangkan pada tekanan tinggi,  $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$  tidak bisa dianggap nol, karena densitas gas

akan mendekati densitas gas fasa teradsorpsi/terkondensasi, sehingga  $n_{Gibbs}$  akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan (walaupun harga  $n_{absolut}$  naik) sampai menyentuh sumbu x, dan pada saat itulah proses regresi grafik dapat dilakukan untuk mencari nilai densitas gas dalam fasa teradsorpsi,  $\rho_{ads}$ . Untuk menghitung adsorpsi absolut yang didapatkan dari data adsorpsi Gibbs, maka diperlukan suatu estimasi nilai dari densitas fasa teradsorpsi,  $\rho_{ads}$ .

## 2.4 Teknik–Teknik Pengukuran Adsorpsi

Proses pengolahan gas yang berlangsung di dalam industri umumnya berlangsung pada tekanan tinggi sehingga pengetahuan dan pengembangan teknik adsorpsi gas pada tekanan tinggi sangatlah diperlukan (Panji, 2009). Uji adsorpsi gas biasanya dilakukan menggunakan metode baik volumetrik, gravimetrik maupun kromatografik pada temperatur tetap/konstan, volume konstan dan tekanan konstan dengan mempergunakan berbagai jenis peralatan. Beberapa teknik pengukuran adsorpsi isoterm akan dibahas dibawah ini, yaitu: teknik volumetrik (teknik tidak langsung) dan teknik gravimetrik (teknik langsung) dari komposisi kesetimbangan fase gas. Berikut penjelasan mengenai kedua teknik tersebut.

### A. Adsorpsi Gas Volumetrik

Analisis adsorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan metode volumetrik telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya diantaranya Gasem dkk (2002), dan Sudibandriyo dkk (2003). Adsorpsi gas volumetrik akan dijelaskan berdasarkan pada volume konstan dan tekanan konstan.

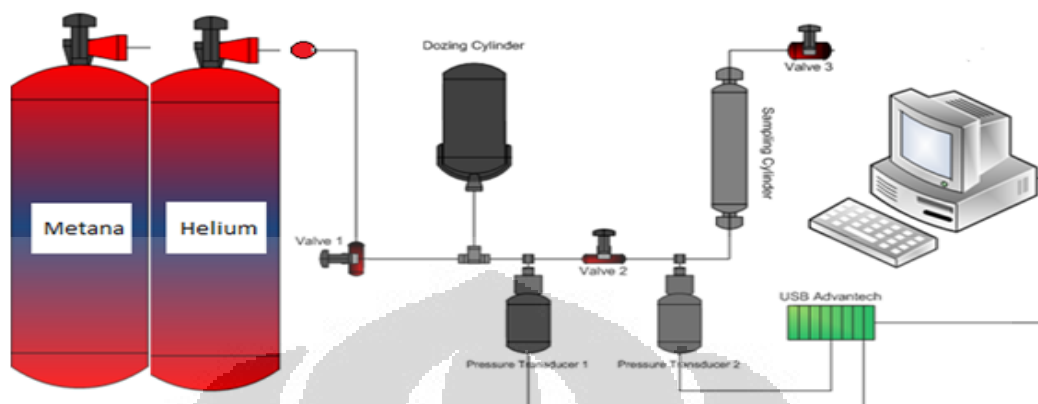
#### Volume Konstan

Metode volumetrik untuk pengukuran tekanan tinggi isoterm adsorpsi gas murni memberikan pengukuran langsung dari jumlah teradsorpsi. Dasar pengukuran metode volumetrik adalah tekanan, volume dan suhu 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. Alat adsorpsi gas pada metode volume konstan dapat dilihat pada gambar 2.5.

Skema pada Gambar 2.5 merupakan alat uji adsorpsi yang terdiri dari *dozing cylinder* dan *sampling cylinder* yang dilengkapi dengan *pressure transducer* pada pipa penyalurnya. Sinyal keluaran *Pressure transducer* selanjutnya dihubungkan dengan komputer dengan *software* Adam View dan *USB Data Acquisition* yang akan diterjemahkan menjadi parameter tekanan pada *dozing* dan *sampling cylinder* serta temperatur. Pembacaan parameter tekanan dan temperatur merupakan suatu kalibrasi tegangan listrik yang dihasilkan dari

**Universitas Indonesia**

*pressure transducers* dan diterjemahkan sebagai besaran tekanan dan temperatur oleh komputer dengan bantuan *USB Data Acquisition*.

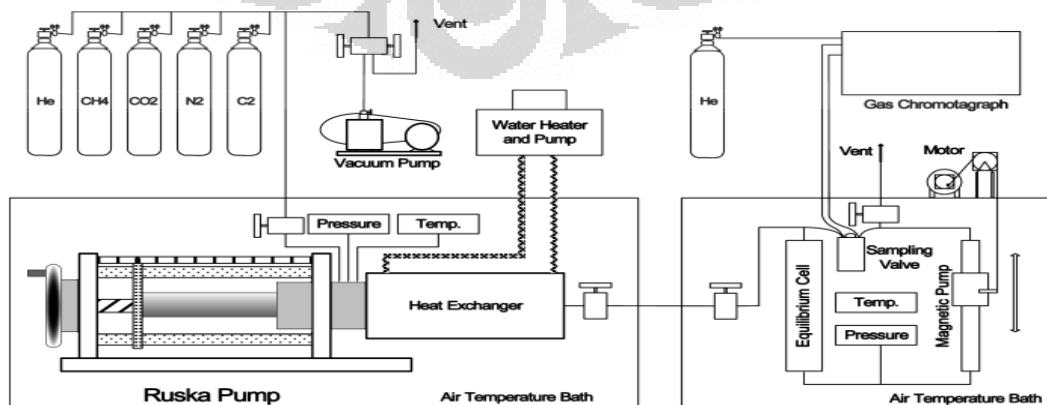


**Gambar 2.5** Skema Alat Uji Adsorpsi pada Metode Volume Konstan (Suci Ayunda, 2011)

*Sampling cylinder* merupakan pipa vakum yang bisa dimodifikasi dan dilepas untuk diletakkan adsorben didalamnya sehingga alat ini sangat riskan untuk mengalami kebocoran. Oleh karena itu, selalu dilakukan tes kebocoran sebelum melakukan uji adsorpsi.

### Tekanan Konstan

Metode percobaan untuk tekanan konstan sudah dilakukan di laboratorium adsorpsi Oklahoma State University (OSU) berdasarkan pada prinsip kesetimbangan massa. Peralatan percobaan adsorpsi gas berdasarkan tekanan tetap menggunakan metode injeksi ditunjukkan secara skematis pada Gambar 2.6 telah digunakan dengan sukses sebelumnya (Sudibandriyo *et al.*, 2003).



**Gambar 2.6** Skema Diagram Peralatan Tekanan Konstan (Sudibandriyo *et al.*, 2003)

Bagian peralatan yaitu seperti pompa dan *cell* diatur dalam suhu udara konstan. *Cell* merupakan tempat vakum sebelum injeksi gas. Void volume,  $V_{void}$ , dalam *cell* kesetimbangan ini kemudian ditentukan oleh besarnya jumlah helium yang diinjeksikan dari injeksi pompa (Pompa Ruska). Karena helium merupakan gas yang teradsorpsi tidak terlalu signifikan, volume void dapat ditentukan dari pengukuran nilai suhu, tekanan, dan jumlah helium yang diinjeksikan kedalam *cell*. Persamaan kesetimbangan massa, dinyatakan dalam volumetrik yaitu:

$$V_{void} = \frac{\left(\frac{P\Delta V}{ZT}\right)_{pump} - n_{sol,He}}{\left(\frac{P_2}{Z_2 T} - \frac{P_1}{Z_1 T}\right)_{cell}} \quad (2.10)$$

Ketidaksesuaian jumlah mol gas helium pada air,  $n_{sol,He}$ , dihitung dari sifat daya larut pada air (Pray et al., 1952). Untuk pengukuran adsorpsi gas murni,  $n_{inj}$ , dari gas (misalnya metana) diinjeksikan dari bagian pompa ke dalam bagian sel. Beberapa gas diinjeksikan akan teradsorpsi, dan sisanya yang tidak teradsorpsi,  $n_{unads}$ , akan ada disebagian fase kestimbangan (gas) dalam sel. Keseimbangan molar digunakan untuk menghitung jumlah yang teradsorpsi,  $n^{Gibbs}$  seperti:

$$n^{Gibbs} = n_{inj} - n_{unads} - n_{sol} \quad (2.11)$$

Jumlah yang diinjeksikan dapat ditentukan dari pengukuran tekanan, suhu, dan volume bagian pompa:

$$n_{inj} = \left(\frac{P\Delta V}{ZRT}\right)_{pump} \quad (2.12)$$

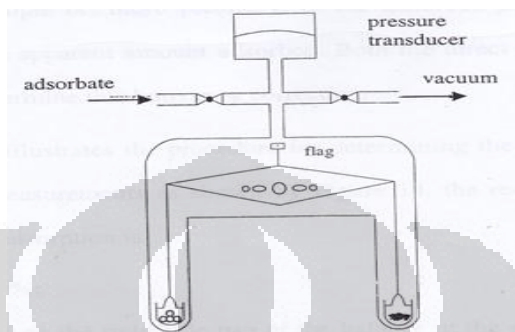
Jumlah gas yang tidak teradsorpsi dihitung dari kondisi pada kesetimbangan dalam sel:

$$n_{unads}^{Gibbs} = \left(\frac{P\Delta V_{void}}{ZRT}\right)_{cell} \quad (2.13)$$

Ketidaksesuaian jumlah mol gas pada water,  $n_{sol}$ , dihitung dari kecocokan sifat daya larut air (Pray et al., 1952; King et al., 1992; Dhima et al., 1988). Untuk nitrogen dan metana, ketidaksesuaian jumlah gas pada air cukup rendah. Dalam Persamaan 2.12 dan 2.13, nilai Z adalah kompresibilitas gas murni yang berlaku dikondisi temperatur dan tekanan. Dari persamaan 2.11 ke 2.13 menyatakan bahwa jumlah gas yang teradsorpsi dapat dihitung secara langsung dari percobaan pengukuran tekanan, suhu, dan volume, digabungkan dengan pengetahuan akan faktor kompresibilitas gas, Z (dari data percobaan atau kesesuaian persamaan yang telah ditetapkan).

## B. Adsorpsi Gas Gravimetrik

Dalam metode gravimetrik, perubahan berat sampel adsorben dalam bidang gravitasi karena adsorpsi dari fase gas dicatat. Jumlah adsorben dalam teknik gravimetrik ini langsung ditentukan dari kenaikan massa yang diukur dengan keseimbangan.



**Gambar 2.7** Alat Pengukuran Gravimetrik (Sudibandriyo *et al.*, 2003)

Sama seperti metode volumetrik, metode gravimetrik juga dapat digunakan untuk pengukuran kontinu atau *discontinuous*. Keuntungan utama dari metode gravimetrik meliputi sensitivitas, akurasi, dan memeriksa aktivasi dari suatu sampel adsorben. Namun pertimbangan akan koreksi daya apung (koreksi *buoyancy*) harus diperhitungkan pada pengukuran gravimetrik. Koreksi *buoyancy* diperlukan dalam gravimetri adsorpsi yang memiliki asal sama seperti penentuan *void volume* pada ketetapan pengukuran volumetrik. Total *buoyancy* dirumuskan sebagai berikut:

$$m_i^B = M_g \cdot \rho_g \cdot V_i \quad (2.14)$$

Dimana keterangan mengenai  $M_g$  dan  $\rho_g$  adalah massa molar dan densitas adsorbat tersebut; dan  $V$  adalah volume unsur. *Buoyancy* absolut setara dengan bahan yang terserap.

### 2.5 Teori Ketidakpastian Dalam Pengukuran

Teori ketidakpastian merupakan hubungan besaran fisika dengan yang diteliti dan diukur, sering juga dinamakan teori kesalahan atau teori galat. Tujuan dari suatu percobaan adalah untuk pengambilan suatu data dengan melakukan pengukuran dan memperoleh “nilai benar” dengan suatu kepercayaan yang kuat dari suatu besaran fisis yang kita ukur. Dari hasil pengukuran yang didapat, kita

Universitas Indonesia

tidak dapat memberikan sepenuhnya bahwa hasil pengukuran tepat atau tanpa suatu ketidakpastian atau kesalahan. Ketelitian pengukuran akan semakin teliti jika nilai yang dihasilkan makin banyak, misalkan nilai yang didapat dari suatu pengukuran sebesar 2,1678 lebih teliti dibandingkan nilai 2,17. Hal ini menandakan bahwa hasil pengukuran tidak seluruhnya terjamin ketepatannya.

Beberapa penyebab ketidakpastian hasil pengukuran pada penelitian ini yaitu kondisi peralatan yang digunakan dan cara perhitungan tiap variabel persamaan matematis. Selain kedua faktor penyebab tersebut banyak faktor-faktor lain yang berpengaruh pada waktu melakukan pengukuran percobaan yang tidak dapat diketahui semuanya. Dapat diakui bahwa kesalahan dari suatu pengukuran tidak dapat dielakkan, maka dari itu wajib mengetahui sumber ketidakpastian itu berasal. Selain menyajikan hasil pengukuran, harus dibuat taksiran mengenai ketidakpastian yang melekat pada hasil pengukuran tersebut dan melaporkannya dengan jujur. Dengan demikian orang dapat menilai dan mempercayai hasil pengukuran tersebut dengan wajar, juga dapat meminimalisir kesalahan. Besar kecil nilai ketidakpastian juga dapat menyatakan tingkat kepercayaan yang dapat diberikan pada nilai terbaik tersebut.

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 \right] \quad (2.15)$$

Jika suatu pengukuran dengan besaran “y” diperoleh dari hasil pengukuran variabel  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sebagaimana ditunjukkan dari relasi :  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  maka ketidakpastian besaran y dapat dinyatakan sebagai  $\sigma_y$  yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.15. Dimana  $\sigma_{x_i}$  adalah ketidakpastian pengukuran dari masing-masing variabel  $x_i$ .

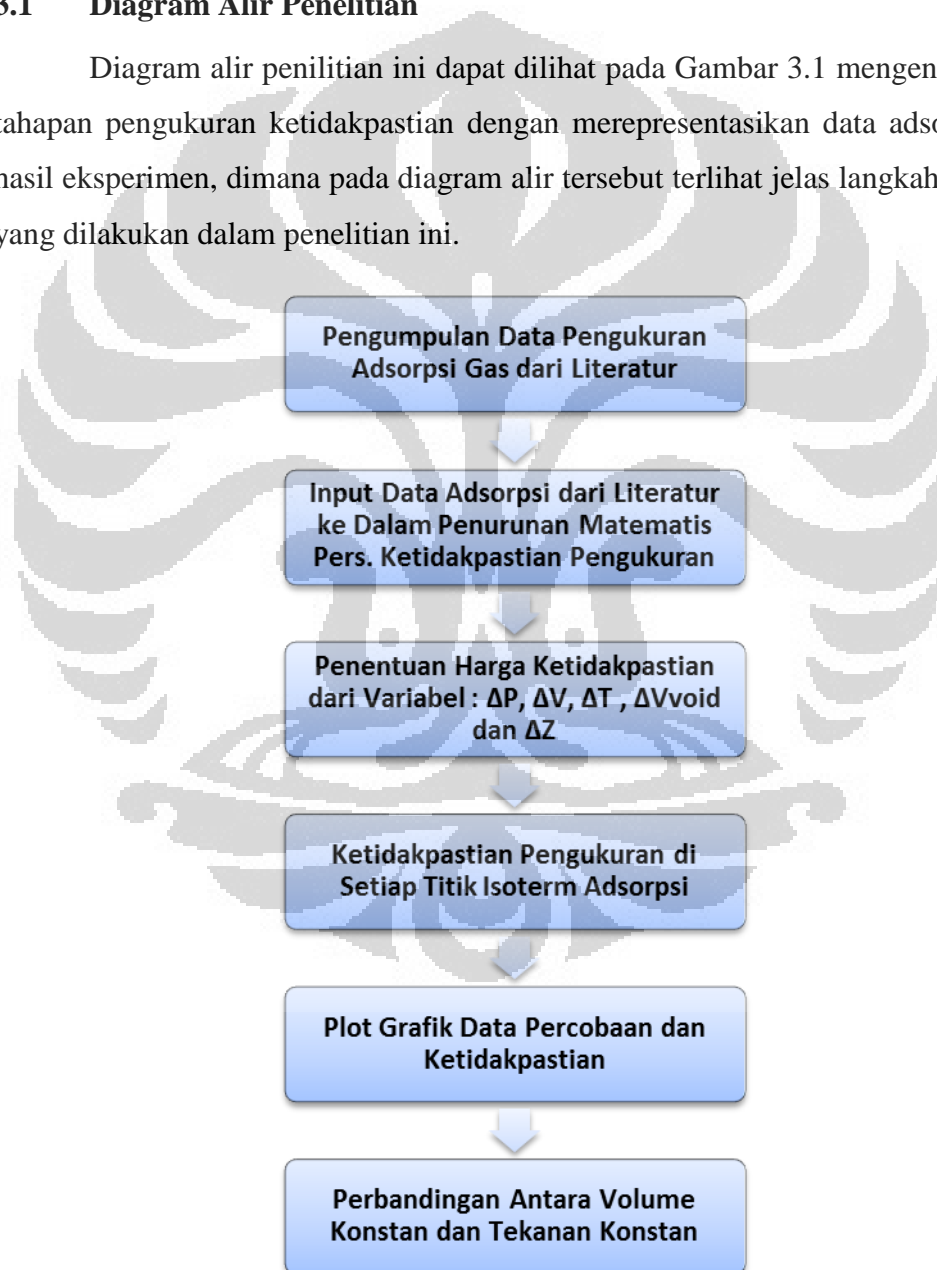


## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai metode dalam menyusun penelitian ini yang digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dan dijelaskan lebih detail pada sub bab 3.2 berikutnya.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 mengenai skema tahapan pengukuran ketidakpastian dengan merepresentasikan data adsorpsi gas hasil eksperimen, dimana pada diagram alir tersebut terlihat jelas langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Tahap-Tahap Penelitian

#### 3.2.1 Tahap I : Pengumpulan Data Pengukuran Adsorpsi Gas Dari Literatur

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data mengenai adsorpsi gas isothermal. Data eksperimen tersebut merupakan data yang berasal dari literatur dengan variasi beberapa parameternya seperti adsorben, adsorbat yang digunakan serta kondisi temperatur dan tekanan yang bervariasi. Data hasil eksperimen yang berasal dari literatur ditunjukkan pada Tabel 3.1 untuk tekanan tetap (fixed pressure) dan tabel 3.2 untuk volume tetap (fixed volume).

**Table 3.1** Database Adsorption *Fixed Pressure*

No. Sistem	Adsorbent	Adsorbat	Temp. (K)	Pressure Range (MPa)	Referensi
1.	Active Carbon (Dry- F 400)	CH <sub>4</sub>	318 & 328	0.7 – 13.7	OSU
2.	Active Carbon (Dry- F 400)	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU
3.	Dry Illinois #6 Coal	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU
4.	Dry Beulah Zap Coal	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU
5.	Dry Wyodak Coal	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU
6.	Dry Upper Freeport Coal	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU
7.	Dry Pocahontas Coal	CO <sub>2</sub>	328	0.7 – 13.7	OSU

**Table 3.2** Database Adsorption *Fixed Volume*

No. Sistem	Adsorbent	Adsorbate	Temp. (K)	Pressure Range (MPa)	Referensi
1	Batubara Barito Dry	CH <sub>4</sub>	298	0 – 6	Suci Ayunda. R
2	Batubara Ombilin Dry	CH <sub>4</sub>	298	0 – 6	Suci Ayunda. R
3	Zeolit Alam Malang	CH <sub>4</sub>	303	0 – 6	Ronald. Frezer
4	Zeolit Alam Malang	CH <sub>4</sub>	323	0 – 6	Ronald. Frezer
5	Karbon Aktif	CH <sub>4</sub>	314	0 – 6	Arum Siti. E
6	Karbon Aktif	CH <sub>4</sub>	316	0 – 6	Arum Siti. E
7	Zeolit Alam Lampung	CO <sub>2</sub>	303	0 – 6	Ayu Adi
8	Zeolit Alam Lampung	CO <sub>2</sub>	313	0 – 6	Ayu Adi
9	Zeolit Alam Jawa Barat	CO <sub>2</sub>	303	0 – 6	Ayu Adi
10	Zeolit Alam Lampung	CO <sub>2</sub>	313	0 – 6	Ayu Adi
11	Zeolit Alam Malang	CO <sub>2</sub>	303	0 – 6	Ayu Adi
12	Zeolit Alam Malang	CO <sub>2</sub>	313	0 – 6	Ayu Adi

Universitas Indonesia

Keterangan :

Database Adsorption *Fixed Pressure* diambil dari Oklahoma State University

Database Adsorption *Fixed Volume* diambil dari Laboratorium DTK. Tekim UI

### 3.2.2 Tahap II : Input Data Adsorpsi Dari Literatur Ke Dalam Penurunan Matematis Persamaan Ketidakpastian Pengukuran

Data-data adsorpsi gas yang didapat dari literatur kemudian dimasukkan kedalam Spreadsheet. Lalu disimpan dengan menggunakan format: nama dokumen.xls. Sebelumnya dilakukan penurunan rumus matematis yang kemudian dimasukkan ke dalam *Spreadsheet*. Berikut penurunan rumus matematis untuk ketidakpastian pengukuran adsorpsi pada tekanan tetap dan volume tetap.

#### Tekanan Konstan

Adsorpsi Gibbs (*Excess Adsorption*) berbasis pada unit massa atau mg mol/g yang dapat dilihat pada rumus berikut:

$$n^{Gibbs} = \frac{1000 n_{ads}}{L} \quad (3.1)$$

Dimana L adalah jumlah karbon aktif yang dimasukkan dalam *cell* atau sampling silinder dalam satuan gram dan  $n_{ads}$  yang sudah dijelaskan pada bab 2. Untuk menghitung ketidakpastian dalam penghitungan *error* adsorpsi Gibbs ditentukan oleh rumus berikut:

$$\sigma_{n^{Gibbs}}^2 = \left( \frac{\partial n^{Gibbs}}{\partial n_{ads}} \right)^2 \sigma_{n_{ads}}^2 + \left( \frac{\partial n^{Gibbs}}{\partial L} \right)^2 \sigma_L^2 \quad (3.2)$$

Atau jika persamaan 3.1 dimasukkan ke persamaan 3.2 akan menjadi sederhana seperti :

$$\sigma_{n^{Gibbs}}^2 = \left( \frac{1000}{L} \right)^2 \sigma_{n_{ads}}^2 + \left( \frac{1000 n_{ads}}{L^2} \right)^2 \sigma_L^2 \quad (3.3)$$

Untuk  $\sigma_L$  diasumsikan menjadi 0,1 gram (Sudibandriyo, M, 2003). Pada  $n_{ads} = n_{inj} - n_{unads}$  dapat dihitung dengan rumus:

$$\sigma_{n_{ads}}^2 = \left( \frac{\partial n_{ads}}{\partial n_{inj}} \right)^2 \sigma_{n_{inj}}^2 + \left( \frac{\partial n_{ads}}{\partial n_{unads}} \right)^2 \sigma_{n_{unads}}^2 \quad (3.4)$$

Atau,

$$\sigma_{n_{ads}}^2 = \sigma_{n_{inj}}^2 + \sigma_{n_{unads}}^2 \quad (3.5)$$

Universitas Indonesia

Dimana  $\sigma_{n_{ads}}^2$  merupakan ketidakpastian jumlah gas yang diadsorpsi,  $\sigma_{n_{inj}}^2$  ketidakpastian yang menentukan densitas gas ( $\rho$ ) serta ketidakpastian volume gas yang diinjeksikan,  $\sigma_{n_{unads}}^2$  yang tidak teradsorpsi pada *cell*. Untuk injeksi pada tekanan tetap persamaan awal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n_{inj} &= \left( \frac{V_i}{Z_i RT} - \frac{V_f}{Z_f RT} \right) P \\ &= V_i \rho_i - V_f \rho_f \end{aligned} \quad (3.6)$$

Ketidakpastian  $\sigma_{n_{inj}}^2$  dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_i} \right)^2 \sigma_{\rho_i}^2 + \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial V_i} \right)^2 \sigma_{V_i}^2 + \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_f} \right)^2 \sigma_{\rho_f}^2 + \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial V_f} \right)^2 \sigma_{V_f}^2 \quad (3.7)$$

Disederhanakan menjadi:

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = (V_f^2 + V_i^2) \sigma_{\rho}^2 + 2\rho_p^2 \sigma_v^2 \quad (3.8)$$

Dimana  $V_f$  dan  $V_i$  adalah volume akhir dan awal dalam pompa. Ketidakpastian volume gas ( $\sigma_v$ ) yang diinjeksikan, diasumsikan sampai  $0,02 \text{ cm}^3$ , dan densitas dinyatakan dalam faktor kompresibilitas gas sebagai  $\rho = \frac{p}{ZRT}$ . Kesalahan densitas,  $\sigma_{\rho}$  dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{\rho}^2 = \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P^2 \sigma_T^2 + \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T^2 \sigma_P^2 + \left( \frac{\partial \rho}{\partial Z} \right)_{T,P}^2 \sigma_Z^2 \quad (3.9)$$

Dikembangkan menjadi:

$$\sigma_{\rho}^2 = \rho^2 \left( \left( \frac{1}{T} + \frac{(\partial Z / \partial T)_P}{Z} \right)^2 \sigma_T^2 + \left( \frac{1}{P} - \frac{(\partial Z / \partial P)_T}{Z} \right)^2 \sigma_P^2 + \left( \frac{1}{Z} \right)^2 \sigma_Z^2 \right) \quad (3.10)$$

Persamaan 3.8 juga dapat dipakai dalam menghitung densitas gas pada *cell*,  $\sigma_{\rho \text{ cell}}$ .

Untuk  $n_{unads}$  didefinisikan sama sebagai:

$$n_{unads} = V_{void} \rho_{cell} \quad (3.11)$$

Estimasi kesalahan untuk volume konstan dan tekanan konstan sama, karena yang berbeda hanya pada saat injeksi gas saja, sehingga kesalahan untuk  $n_{unads}$  adalah:

$$\sigma_{n_{unads}}^2 = (\rho_{cell})^2 \sigma_{V_{void}}^2 + (V_{void})^2 \sigma_{\rho_{cell}}^2 \quad (3.12)$$

Dikembangkan menjadi:

$$\sigma_{n_{unads}}^2 = (n_{unads})^2 \left( \left( \frac{1}{T} + \frac{(\partial Z / \partial T)_P}{Z} \right)^2 \sigma_T^2 + \left( \frac{1}{P} - \frac{(\partial Z / \partial P)_T}{Z} \right)^2 \sigma_P^2 + \rho^2 \left( \frac{1}{Z} \right)^2 \sigma_Z^2 + \left( \frac{\sigma_{V_{void}}}{V_{void}} \right)^2 \right) \quad (3.13)$$

untuk *void* volume diukur beberapa kali dalam rentang tekanan operasi. Umumnya, *void* volume sebesar 0,3 cm<sup>3</sup> yang diukur sedikitnya 5 injeksi pengukuran.

### Volume Konstan

Ketidakpastian pengukuran adsorpsi *Gibbs* pada percobaan *fixed volume* dengan *fixed pressure* hanya berbeda saat gas diinjeksikan ke dalam adsorpsi kesetimbangan *cell*, sehingga untuk persamaan 3.5, 3.7, 3.10 dan 3.13 sama dengan metode *fixed pressure*. Untuk injeksi pada volume tetap persamaan awal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n_{inj} &= \left( \frac{P_i}{Z_i RT} - \frac{P_f}{Z_f RT} \right) V \\ &= V(\rho_i - \rho_f) \end{aligned} \quad (3.14)$$

sedangkan untuk persamaan ketidakpastian jumlah injeksi ( $\sigma_{n_{inj}}^2$ ) pada volume tetap ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial V} \right)^2 \sigma_V^2 + \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_i} \right)^2 \sigma_{\rho_i}^2 + \left( \frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_f} \right)^2 \sigma_{\rho_f}^2 \quad (3.15)$$

Disederhanakan menjadi:

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = (\rho_i - \rho_f)^2 \sigma_V^2 + V^2 (\sigma_{\rho_i}^2 + \sigma_{\rho_f}^2) \quad (3.16)$$

Dengan demikian, kesalahan injeksi dari *initial* sampai *final* untuk volume tetap adalah:

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = (n_{inj})^2 \left( \frac{\sigma_V}{V} \right)^2 + (V)^2 \sum_{k=1}^N (\sigma_{\rho_i}^2 + \sigma_{\rho_f}^2) \quad (3.17)$$

### **3.2.3 Tahap III : Penentuan Harga Ketidakpastian dari Variabel : $\Delta P$ , $\Delta V$ , $\Delta T$ , $\Delta V_{void}$ dan $\Delta Z$**

Pada tahap ini dilakukan penentuan harga ketidakpastian terhadap variable yang meliputi:  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{void}$  dan  $\Delta Z$  berdasarkan pada tekanan tetap dan volume tetap, kemudian dimasukkan ke dalam spreadsheet. Selama proses pengukuran jika adsorbat yang digunakan diasumsikan mempunyai sifat gas ideal

maka  $Z$  yang merupakan faktor kompresibilitas adalah 1, namun dalam perhitungan ini adsorbat yang digunakan tidak diasumsikan sebagai gas ideal sehingga nilai  $Z$  sangat bergantung pada besar tekanan dan suhu.

#### **3.2.4 Tahap IV : Ketidakpastian Pengukuran Di Setiap Titik Adsorpsi**

Pada tahap ini melihat bagaimana efek dari masing-masing pengukuran untuk dianalisa sehingga dapat dilihat manakah variable yang paling berkontribusi dalam kesalahan pengukuran adsorpsi. Prosedur data yang dilakukan untuk melihat faktor dominan seperti mencoba-coba variabel  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{\text{void}}$  dan  $\Delta Z$  dengan menaikkan rentang ketidakpastian dari 50% sampai 150% dari besaran kesalahan:  $\Delta P = 1$  psia,  $\Delta V = 0,02 \text{ cm}^3$ ,  $\Delta T = 0,1 \text{ K}$ ,  $\Delta V_{\text{void}} = 0,3 \text{ cm}^3$  dan  $\Delta Z = 0,0005$ . Dengan rentang tersebut dapat dilihat variabel yang nilai ketidakpastiannya paling besar sehingga bagian alat yang berhubungan dengan variabel tersebut dapat diganti dengan alat yang tingkat presisi dan ketelitian yang tinggi. Dengan demikian nilai ketidakpastian atau faktor-faktor kesalahan dari pengukuran jumlah gas yang teradsorpsi dapat diminimalisasi. Jika nilai ketidakpastian yang dihasilkan kurang dari rentang ketidakpastian yang sudah ditetapkan dapat dikatakan bahwa kesalahan pengukuran adsorpsi masih dapat diterima.

#### **3.2.5 Tahap V : Plot Grafik Data Percobaan dan Ketidakpastian**

Dari hasil substitusi data yang dihasilkan pada excel kemudian di plotkan dalam suatu grafik.

#### **3.2.6 Tahap VI : Perbandingan Antara Volume Konstan dan Tekanan Konstan**

Untuk data pengukuran adsorpsi gas berdasarkan tekanan konstan dilakukan tahapan yang sama seperti diatas, kemudian dibandingkan antara volume konstan dan tekanan konstan. Data hasil perbandingan tersebut kemudian dapat ditentukan cara penelitian yang bisa menghasilkan ketidakpastian yang paling minimum.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, data percobaan adsorpsi gas didapatkan dari berbagai literatur pada beberapa jenis adsorben diantaranya: Karbon Aktif, Zeolit dan Batubara. Data percobaan tersebut digunakan untuk menghitung ketidakpastian dari masing–masing titik data percobaan adsorpsi gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode tekanan tetap (*fixed pressure*) dan volume tetap (*fixed volume*). Kedua metode ini berbeda ketika gas diinjeksikan ke dalam adsorpsi kesetimbangan *cell*. Dengan adanya kedua metode ini, dapat diketahui seberapa besar perbedaan kesalahan dari kedua metode tersebut. Kemudian dengan menaikkan rentang kesalahan sebanyak 50% sampai 150% dari variabel pengukuran  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{void}$  dan  $\Delta Z$  akan diperoleh seberapa besar masing–masing dari variabel pengukuran tersebut berpengaruh terhadap ketidakpastian pengukuran. Dari evaluasi hasil diharapkan dapat diusulkan suatu rekomendasi untuk mengurangi kesalahan percobaan. Tabel pengolahan data yang lebih terperinci dari masing–masing sampel adsorben dicantumkan pada lampiran.

#### 4.1 Kesalahan Pengukuran Adsorben Gibbs pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

Sebagaimana telah dibahas di Bab III, kesalahan pengukuran adsorpsi gibbs pada percobaan dengan *fixed pressure* untuk adsorben kering, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_{n_{ads}}^2 = \sigma_{n_{inj}}^2 + \sigma_{n_{unads}}^2 \quad (4.1)$$

$$\sigma_{n_{inj}}^2 = \left(\frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_i}\right)^2 \sigma_{\rho_i}^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial v_i}\right)^2 \sigma_{v_i}^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial \rho_f}\right)^2 \sigma_{\rho_f}^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{inj}}{\partial v_f}\right)^2 \sigma_{v_f}^2 \quad (4.2)$$

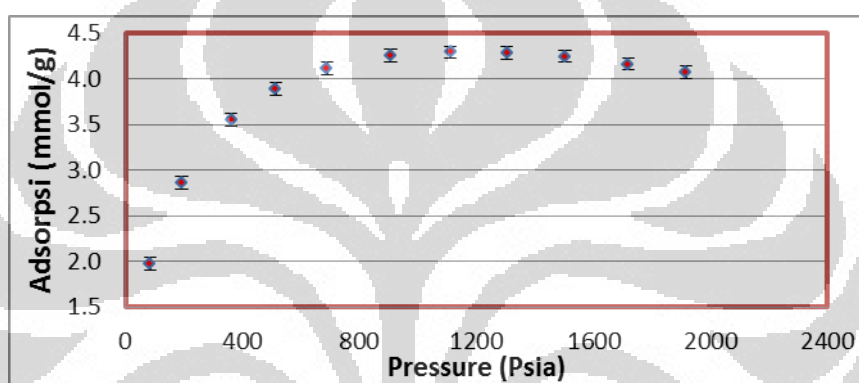
$$\sigma_{\rho}^2 = \rho^2 \left( \left(\frac{1}{T} + \frac{(\partial Z/\partial T)_P}{Z}\right)^2 \sigma_T^2 + \left(\frac{1}{P} - \frac{(\partial Z/\partial P)_T}{Z}\right)^2 \sigma_P^2 + \left(\frac{1}{Z}\right)^2 \sigma_Z^2 \right) \quad (4.3)$$

$$\sigma_{n_{unads}}^2 = (n_{unads})^2 \left( \left(\frac{1}{T} + \frac{(\partial Z/\partial T)_P}{Z}\right)^2 \sigma_T^2 + \left(\frac{1}{P} - \frac{(\partial Z/\partial P)_T}{Z}\right)^2 \sigma_P^2 + \rho^2 \left(\frac{1}{Z}\right)^2 \sigma_Z^2 + \left(\frac{\sigma_{V_{void}}}{V_{void}}\right)^2 \right) \quad (4.4)$$

Terlihat dari persamaan–persamaan tersebut bahwa besaran kesalahan pengukuran adsorpsi akan dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari pengukuran

tekanan ( $\Delta P$ ), pengukuran volume ( $\Delta V$ ), pengukuran temperatur ( $\Delta T$ ), pengukuran void volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) dan ketelitian dalam penggunaan persamaan perhitungan faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ).

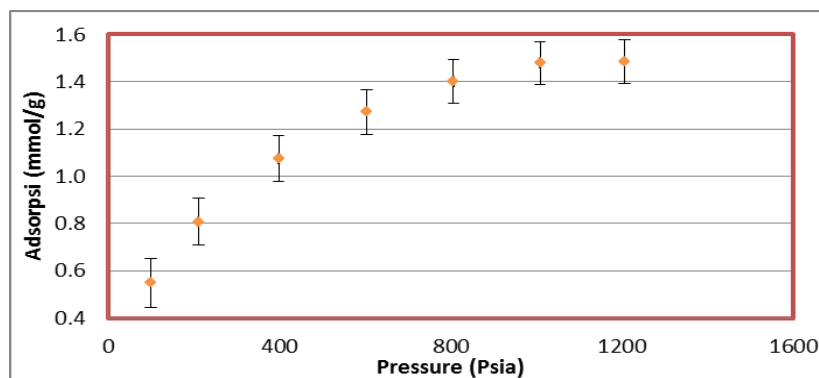
Pada Gambar 4.1 menunjukkan salah satu tipikal hasil pengukuran adsorpsi gas metana pada Active Carbon dengan kesalahan pengukuran di setiap titik yang ditunjukkan oleh *error bar* pada grafik. Gambar ini diperoleh dengan besaran kesalahan:  $\Delta P = 1$  psia,  $\Delta V = 0,02$  cm<sup>3</sup>,  $\Delta T = 0,1$  K,  $\Delta V_{\text{void}} = 0,3$  cm<sup>3</sup> dan  $\Delta Z = 0,0005$ . Besaran kesalahan tersebut yang nantinya akan dipakai sebagai “*Basic Case*” pada setiap data percobaan.



**Gambar 4.1** Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon Terhadap *Error Bar* Dari Percobaan Menggunakan *Fixed Pressure*

Gambar 4.2 menunjukkan salah satu tipikal hasil pengukuran adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Illinois dengan kesalahan pengukuran di tiap titik percobaan yang ditunjukkan oleh *error bar* pada Gambar tersebut. *Error bar* tersebut diperoleh dengan menggunakan basis besaran kesalahan yang sama seperti pada Gambar 4.1. Dari kedua grafik tersebut, terlihat bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan kenaikan tekanan, namun demikian *Error Gibbs* yang dihasilkan tidak terpengaruh oleh kenaikan tekanan secara berarti. Untuk lebih detail mengenai *Error Gibbs* yang dihasilkan tiap variabel, akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.





**Gambar 4.2** Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Illinois Terhadap *Error Bar* Dari Percobaan Menggunakan *Fixed Pressure*

#### 4.1.1 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Tekanan ( $\Delta P$ ) Pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Tabel 4.1 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon pada T = 318 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta P$  dari 1 psia sampai dengan 2,5 psia. Dari Tabel 4.1 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta P$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta P$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 5,02%. *Error Gibbs* yang dihasilkan pada tiap titik percobaan dari kenaikan besaran kesalahan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

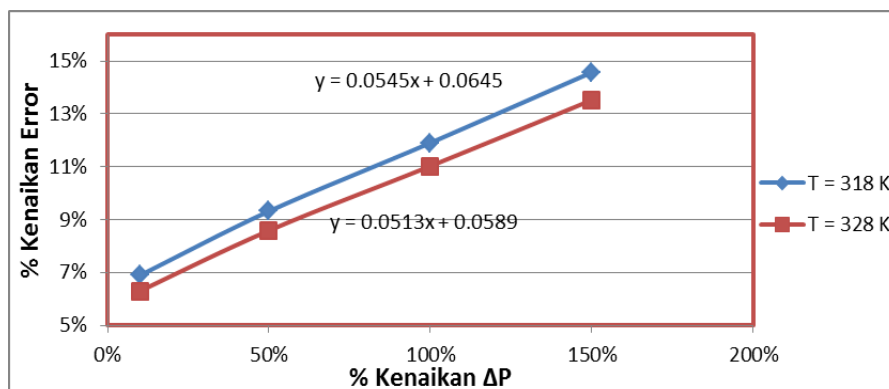
Tabel 4.2 menunjukkan hal yang sama untuk data pada temperatur 328 K. Dari tabel tersebut terlihat bahwa secara umum *Error Gibbs* rata-rata pada temperatur ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan data pada temperatur 318 K (Tabel 4.1). Dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta P$  dari 1 psia sampai dengan 2,5 psia terlihat adanya kenaikan *Error Gibbs* rata-rata. Dalam hal ini, setiap kenaikan 100%  $\Delta P$  akan menaikkan *Error Gibbs* sebesar 4,73%. Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta P$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.3 untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut.

**Table 4.1** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 318 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	9.79 %	12.66 %	15.59 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	9.63 %	12.45 %	15.33 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	9.48 %	12.23 %	15.06 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	9.37 %	12.08 %	14.86 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	9.28 %	11.94 %	14.67 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	9.20 %	11.80 %	14.47 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	9.15 %	11.69 %	14.31 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	9.13 %	11.61 %	14.18 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	9.13 %	11.55 %	14.06 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	9.16 %	11.51 %	13.97 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	9.22 %	11.50 %	13.90 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	9.32 %	11.91 %	14.58 %

**Table 4.2** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 328 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	9.01 %	11.68 %	14.41 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	8.87 %	11.50 %	14.18 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	8.70 %	11.26 %	13.88 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	8.61 %	11.14 %	13.72 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	8.52 %	11.00 %	13.53 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	8.46 %	10.88 %	13.36 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	8.42 %	10.78 %	13.21 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	8.41 %	10.71 %	13.09 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	8.44 %	10.68 %	13.00 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	8.49 %	10.66 %	12.93 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	8.59 %	11.03 %	13.53 %



**Gambar 4.3** Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

Gambar 4.3 juga menunjukkan bahwa tingkat pengaruh dari % kenaikan  $\Delta P$  untuk kedua sistem Active Carbon tersebut tidak berbeda jauh yang ditandai dengan slope yang tidak berbeda yaitu 0,0545 pada  $T=318$  K dan 0,0513 pada  $T=328$  K.

#### Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$

Tabel 4.3 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Batubara Illinois, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta P$  sama dengan percobaan adsorpsi  $\text{CH}_4$  dari 1 psia sampai dengan 2,5 psia. Dari Tabel 4.3 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta P$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta P$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 3,82%.

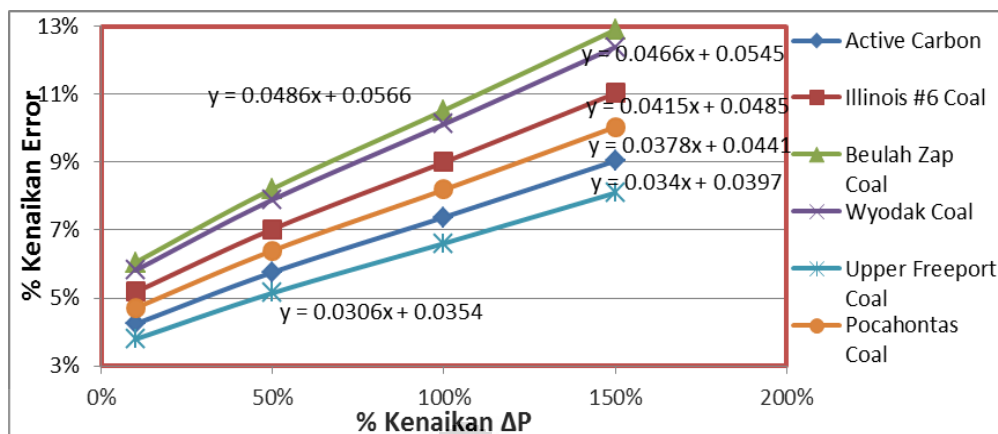
Pada Tabel 4.4, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta P$  dinaikkan 0,5 kalinya. Dari Tabel tersebut, jika  $\Delta P$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Upper Freeport menunjukkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 2,82% sedangkan Batubara Beulah Zap menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 4,48%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada tabel berikut ini:

**Table 4.3** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Illinois #6

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	7.36 %	9.53 %	11.74 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	7.23 %	9.36 %	11.53 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	7.05 %	9.12 %	11.22 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	6.90 %	8.88 %	10.92 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	6.80 %	8.70 %	10.66 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	6.81 %	8.62 %	10.50 %
7.	1206.1	1.4853	5.51 %	7.06 %	8.78 %	10.59 %
<b>Rata – rata</b>			5.18%	7.03%	9.00%	11.03%

**Table 4.4** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  pada Sistem Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	Active Carbon	4.24 %	5.76 %	7.38 %	9.04 %
2.	Illinois #6 Coal	5.18 %	7.03 %	9.00 %	11.03 %
3.	Beulah Zap Coal	6.05 %	8.22 %	10.53 %	12.90 %
4.	Wyodak Coal	5.82 %	7.90 %	10.12 %	12.39 %
5.	Upper Freeport Coal	3.79 %	5.15%	6.61 %	8.10%
6.	Pocahontas Coal	4.71 %	6.40 %	8.19 %	10.04 %



**Gambar 4.4** Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta P$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.4 untuk keenam sistem tersebut. Dari Gambar 4.4 tersebut terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Batubara Beulah Zap memberikan *Error Gibbs* yang besar sedangkan pengukuran adsorpsi pada Batubara Upper Freeport memberikan tingkat *Error Gibbs* yang paling rendah. Tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta P$  pada Batubara Beulah Zap juga menunjukkan harga yang lebih tinggi dari Batubara Upper Freeport, ditandai dengan nilai slope yang lebih besar.

#### 4.1.2 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Volume ( $\Delta V$ ) pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

##### Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$

Tabel 4.5 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon pada  $T = 318 \text{ K}$ , dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V$  dari  $0,02 \text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,05 \text{ cm}^3$ . Dari Tabel 4.5 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara tidak signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta V$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata hanya sebesar 0,008%.

**Table 4.5** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 318 \text{ K}$

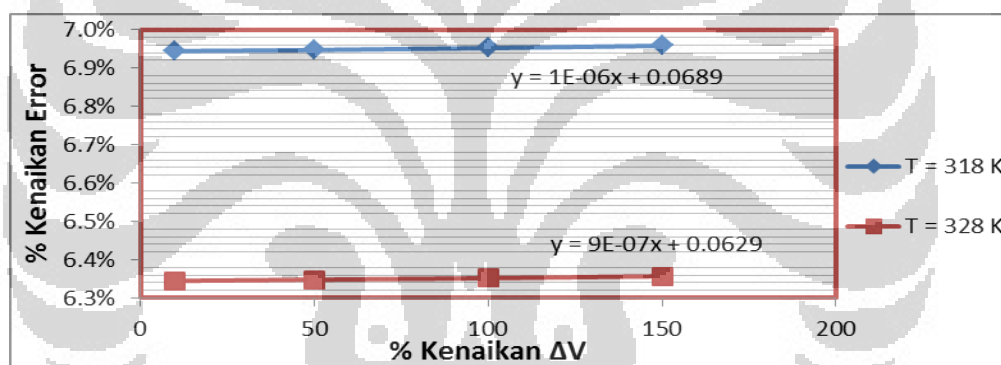
No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.06 %	7.06 %	7.07 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	6.96 %	6.96 %	6.97 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	6.86 %	6.87 %	6.87 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	6.80 %	6.81 %	6.81 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.77 %	6.77 %	6.78 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.75 %	6.76 %	6.76 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	6.77 %	6.78 %	6.78 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	6.82 %	6.83 %	6.83 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	6.90 %	6.91 %	6.91 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.02 %	7.02 %	7.03 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.15 %	7.16 %	7.16 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	6.90 %	6.90 %	6.91 %

**Table 4.6** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 328 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.45 %	6.45 %	6.46 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.35 %	6.36 %	6.36 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.25 %	6.26 %	6.26 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.21 %	6.21 %	6.22 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.18 %	6.18 %	6.18 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.17 %	6.18 %	6.18 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.21 %	6.21 %	6.22 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.28 %	6.28 %	6.29 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.37 %	6.38 %	6.38 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	6.50 %	6.51 %	6.51 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.30 %	6.30 %	6.31 %

Tabel 4.6 menunjukkan hal yang sama untuk data pada temperatur 328 K. Dari tabel tersebut terlihat bahwa secara umum *Error Gibbs* rata-rata pada temperatur ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan data pada temperatur 318 K (Tabel 4.5). Dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V$  dari  $0,02 \text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,05 \text{ cm}^3$  terlihat adanya kenaikan *Error Gibbs* rata-rata yang sangat kecil. Pada temperatur ini, setiap kenaikan 100%  $\Delta V$  akan menaikkan *Error Gibbs* hanya sebesar 0,007%.

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta V$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.5 untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa tingkat pengaruh dari % kenaikan  $\Delta V$  untuk kedua sistem Active Carbon tersebut tidak berbeda jauh, yang ditandai dengan harga slope yang berdekatan yaitu  $1 \times 10^{-6}$  dan  $9 \times 10^{-7}$ .



**Gambar 4.5** Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

#### Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$

Adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  untuk variabel pengukuran  $\Delta V$  ini masih menggunakan karakteristik adsorben yang sama seperti pengukuran tekanan sebelumnya. Tabel 4.7 merupakan salah satu contoh tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Batubara Beulah Zap. Pada tabel tersebut dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V$  sama dengan percobaan adsorpsi  $\text{CH}_4$  dari  $0,02 \text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,05 \text{ cm}^3$ , terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata menaik namun tidak signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta V$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata hanya sebesar 0,014%. Persentase

kenaikan *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta V$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Tabel 4.8 untuk keenam sistem dengan temperatur yang sama.

**Table 4.7** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Beulah Zap

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	89.0	0.8186	6.19 %	6.20 %	6.20 %	6.21 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	6.09 %	6.10 %	6.11 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	5.96 %	5.97 %	5.98 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	5.87 %	5.88 %	5.89 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	5.86 %	5.87 %	5.88 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	6.00 %	6.01 %	6.02 %
7.	1203.7	1.7518	6.41 %	6.41 %	6.42 %	6.43 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	6.06 %	6.06 %	6.07 %

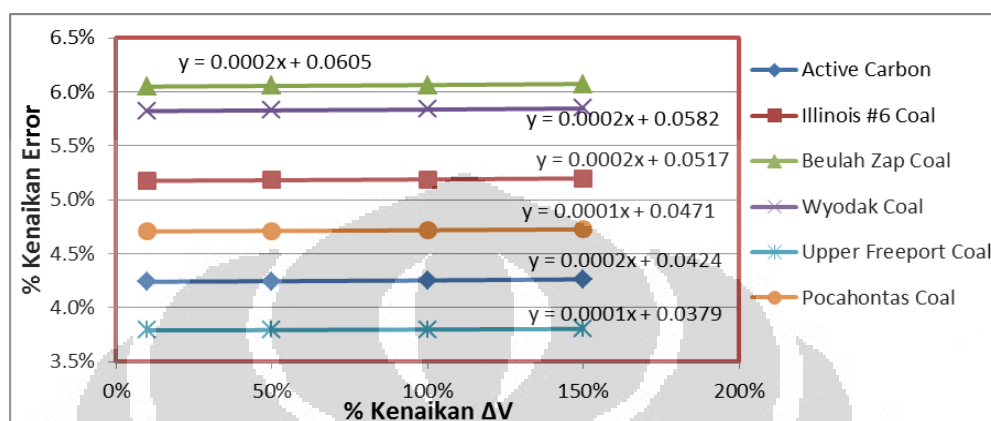
**Table 4.8** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  pada Sistem Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	Active Carbon	4.24 %	4.25 %	4.25 %	4.26 %
2.	Illinois #6 Coal	5.18 %	5.18 %	5.19 %	5.20 %
3.	Beulah Zap Coal	6.05 %	6.06 %	6.06 %	6.07 %
4.	Wyodak Coal	5.82 %	5.83 %	5.84 %	5.85 %
5.	Upper Freeport Coal	3.79 %	3.79 %	3.80 %	3.80 %
6.	Pocahontas Coal	4.71 %	4.71 %	4.72 %	4.723 %

Pada Tabel 4.8, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama seperti adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin naik namun tidak signifikan saat  $\Delta V$  dinaikan 50% dari *basic*



case. Dari Tabel 4.8 tersebut, jika  $\Delta V$  dinaikan 100% menunjukkan bahwa Upper Freeport menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,008% sedangkan Batubara Beulah Zap dan Batubara Wyodak menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 0,014%.



**Gambar 4.6** Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta V$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.6 diatas untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tingkat pengaruh dari % kenaikan  $\Delta V$  untuk keenam sistem Active Carbon dan Batubara tersebut tidak berbeda jauh, yang ditandai dengan harga slope yang saling berdekatan. Sehingga dapat dikatakan bahwa *Error Gibbs* yang dihasilkan pada keenam sistem ini tidak terpengaruh oleh kenaikan besaran kesalahan volume secara berarti.

#### 4.1.3 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Temperatur ( $\Delta T$ ) pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Pada pengukuran temperatur ( $\Delta T$ ) ini, karakteristik adsorben yang digunakan masih sama seperti pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) dan pengukuran volume ( $\Delta V$ ) sebelumnya. Tabel 4.9 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon

pada  $T = 318$  K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta T$  dari 0,1 K sampai dengan 0,25 K. Dari Tabel 4.9 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta T$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta T$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,44%.

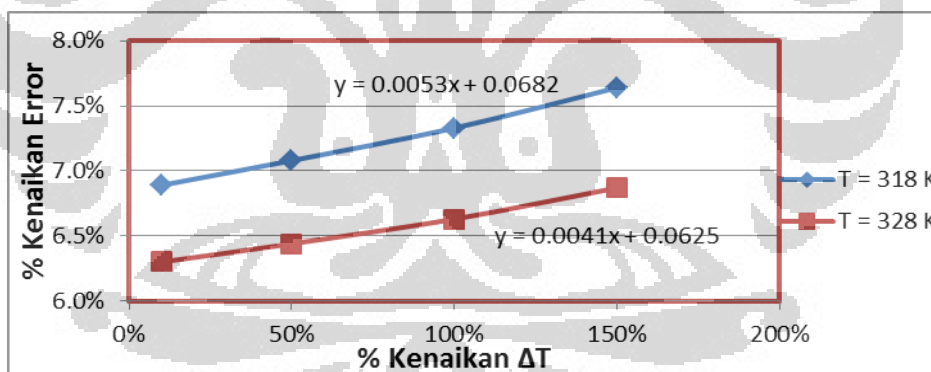
**Table 4.9** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 318$  K

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.26 %	7.55 %	7.89 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	7.16 %	7.43 %	7.78 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	7.06 %	7.33 %	7.66 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	7.00 %	7.26 %	7.59 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.95 %	7.21 %	7.53 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.93 %	7.19 %	7.50 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	6.95 %	7.20 %	7.50 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	6.99 %	7.23 %	7.53 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.07 %	7.30 %	7.59 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.18 %	7.41 %	7.69 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.31 %	7.53 %	7.81 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	7.08%	7.33%	7.64%

Tabel 4.10 menunjukkan hal yang sama untuk data pada temperatur 328 K. Dari tabel tersebut terlihat bahwa secara umum *Error Gibbs* rata-rata pada temperatur ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan data pada temperatur 318 K (Tabel 4.9). Dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta T$  dari 0,1 K sampai dengan 0,25 K terlihat adanya kenaikan *Error Gibbs* rata-rata. Dalam hal ini, setiap kenaikan 100%  $\Delta T$  akan menaikkan *Error Gibbs* sebesar 0,33%.

**Table 4.10** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 328 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.60 %	6.82 %	7.09 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.51 %	6.72 %	6.98 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.40 %	6.61 %	6.86 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.35 %	6.56 %	6.81 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.32 %	6.51 %	6.76 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.31 %	6.51 %	6.74 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.34 %	6.53 %	6.76 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.41 %	6.59 %	6.82 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.50 %	6.68 %	6.90 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	6.63 %	6.80 %	7.02 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.44 %	6.63 %	6.87 %



**Gambar 4.7** Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta T$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.7 untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut. Pada gambar tersebut dapat dikatakan bahwa kedua Active Carbon ini memberikan tingkat pengaruh dari % kenaikan  $\Delta T$  yang tidak berbeda jauh dengan slope yang tidak berbeda yaitu 0,0053 pada  $T = 318 \text{ K}$  dan 0,0041 pada  $T = 328 \text{ K}$ .

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Adsorpsi gas CO<sub>2</sub> untuk variabel pengukuran  $\Delta T$  ini masih menggunakan karakteristik adsorben yang sama seperti pengukuran variabel sebelumnya. Berikut contoh tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Wyodak. Pada Tabel 4.11 dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta T$  sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 0,1 K sampai dengan 0,25 K, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta T$  dinaikkan. Secara umum untuk jenis Batubara ini dengan kenaikan kesalahan  $\Delta T$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,70%.

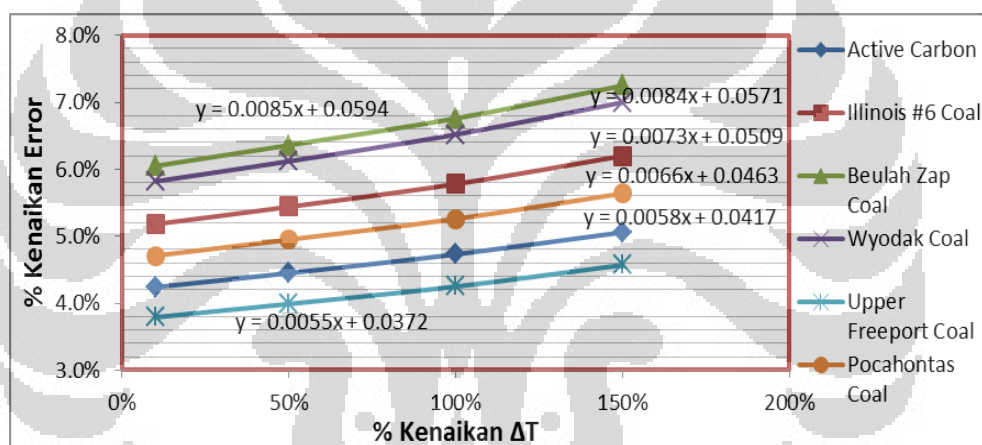
**Table 4.11** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Wyodak

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	100.5	0.7912	5.95 %	6.29 %	6.72 %	7.25 %
2.	210.5	1.0781	5.86 %	6.18 %	6.61 %	7.12 %
3.	403.7	1.3902	5.73 %	6.04 %	6.45 %	6.95 %
4.	606.0	1.6074	5.64 %	5.94 %	6.34 %	6.81 %
5.	812.1	1.7586	5.64 %	5.92 %	6.29 %	6.74 %
6.	1012.4	1.8402	5.76 %	6.03 %	6.39 %	6.82 %
7.	1209.8	1.8359	6.17 %	6.46 %	6.84 %	7.30 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	6.12 %	6.52 %	7.00 %

Pada Tabel 4.12, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta T$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari tabel tersebut, jika  $\Delta T$  dinaikkan 100% menunjukkan bahwa Batubara Upper Freeport menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,46% sedangkan Batubara Beulah Zap menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 0,71%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada tabel berikut ini:

**Table 4.12** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  pada Sistem Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	Active Carbon	4.24 %	4.45 %	4.73 %	5.06 %
2.	Illinois #6 Coal	5.18 %	5.44 %	5.78 %	6.20 %
3.	Beulah Zap Coal	6.05 %	6.36 %	6.76 %	7.25 %
4.	Wyodak Coal	5.82 %	6.12 %	6.52 %	7.00 %
5.	Upper Freeport Coal	3.79 %	3.99 %	4.25 %	4.57 %
6.	Pocahontas Coal	4.71 %	4.95 %	5.26 %	5.64 %



**Gambar 4.8** Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta T$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.8 untuk keenam sistem tersebut. Dari Gambar 4.8 tersebut terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Batubara Beulah Zap memberikan *Error Gibbs* yang paling besar sedangkan pengukuran adsorpsi pada Batubara Upper Freeport memberikan tingkat *Error Gibbs* yang paling rendah. Tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta T$  pada Batubara Beulah Zap juga menunjukkan harga yang lebih tinggi dari Batubara Upper Freeport, ditandai dengan nilai slope yang lebih besar.

#### 4.1.4 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Void Volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Pada pengukuran void volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) ini, karakteristik adsorben yang digunakan masih sama seperti pengukuran variabel sebelumnya. Tabel 4.13 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon pada  $T = 318 \text{ K}$ , dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari  $0,3 \text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,75 \text{ cm}^3$ . Dari Tabel 4.13 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata semakin naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,84%. Tabel 4.14 untuk data pada temperatur 328 K juga menunjukkan hal yang sama seperti data kenaikan *Error Gibbs* pada temperatur 318 K terlihat adanya kenaikan *Error Gibbs* rata-rata.

Tabel 4.14 secara umum menunjukkan bahwa *Error Gibbs* rata-rata pada temperatur 328 K ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan data pada temperatur 318 K. Pada temperatur ini, setiap kenaikan 100%  $\Delta V_{\text{void}}$  akan menaikkan *Error Gibbs* sebesar 0,72%. Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta V_{\text{void}}$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.9 untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut. Berikut data pengukuran tiap titik percobaan dari Active Carbon pada suhu 318 K dan 328 K dengan metode *Fixed Pressure* terhadap pengaruh pengukuran void volume.

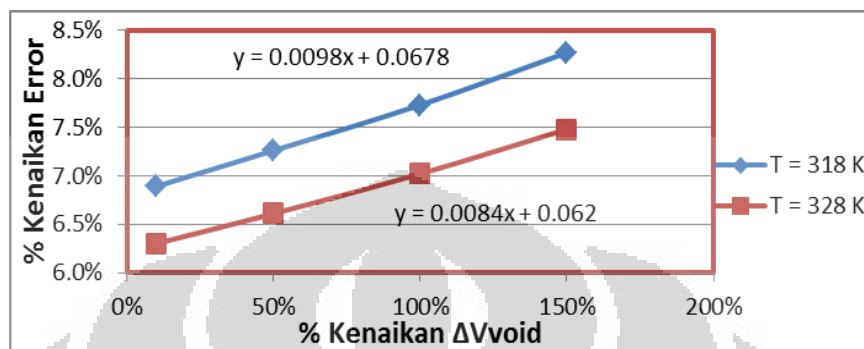
**Table 4.13** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 318 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.06 %	7.06 %	7.06 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	6.96 %	6.98 %	6.99 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	6.89 %	6.94 %	7.00 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	6.87 %	6.98 %	7.10 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.90 %	7.09 %	7.32 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.99 %	7.32 %	7.72 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	7.14 %	7.63 %	8.22 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	7.33 %	8.00 %	8.79 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.59 %	8.45 %	9.45 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.91 %	9.01 %	10.25 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	8.24 %	9.56 %	11.02 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	7.26 %	7.73 %	8.27 %

**Table 4.14** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 328 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.45 %	6.45 %	6.45 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.36 %	6.37 %	6.39 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.29 %	6.34 %	6.42 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.28 %	6.39 %	6.52 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.32 %	6.53 %	6.79 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.43 %	6.77 %	7.19 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.61 %	7.13 %	7.75 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.84 %	7.56 %	8.39 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	7.11 %	8.03 %	9.08 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	7.44 %	8.58 %	9.86 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.61%	7.02%	7.48%

Pada Gambar 4.9 dibawah ini menunjukkan bahwa tingkat pengaruh dari % kenaikan  $\Delta V_{void}$  untuk kedua sistem Active Carbon ini tidak berbeda jauh yang ditandai dengan slope yang tidak berbeda yaitu 0,0098 pada  $T = 318\text{ K}$  dan 0,0084 pada  $T = 328\text{ K}$ .



**Gambar 4.9** Kenaikan %  $\Delta V_{void}$  Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Pressure*

#### Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$

Tabel 4.15 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Batubara Upper Freeport, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V_{void}$  sama dengan percobaan adsorpsi  $\text{CH}_4$  dari  $0,3\text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,75\text{ cm}^3$ . Dari Tabel tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta V_{void}$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V_{void}$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,43%. Tabel berikut ini menunjukkan hasil pengukuran tiap titik percobaan dari salah satu adsorben yang digunakan.

Berdasarkan Tabel 4.16, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  menunjukkan hal yang serupa bahwa rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta V_{void}$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari tabel tersebut, jika  $\Delta V_{void}$  dinaikkan 100% menunjukkan bahwa Active Carbon menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,25% sedangkan Batubara Beulah Zap menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 0,73%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada tabel berikut ini:

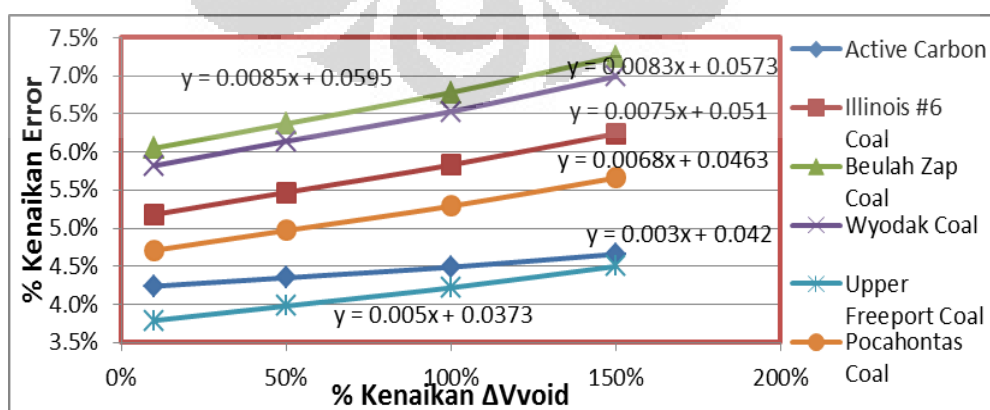


**Table 4.15** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  pada Batubara Upper Freeport

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	3.85 %	3.85 %	3.86 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	3.81 %	3.82 %	3.84 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	3.77 %	3.83 %	3.90 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	3.80 %	3.94 %	4.10 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	3.90 %	4.17 %	4.49 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	4.14 %	4.60 %	5.13 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	4.61 %	5.35 %	6.18 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	3.98%	4.22%	4.50%

**Table 4.16** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	Active Carbon	4.24 %	4.35 %	4.49 %	4.66%
2.	Illinois #6 Coal	5.18 %	5.47 %	5.83 %	6.24 %
3.	Beulah Zap Coal	6.05 %	6.37 %	6.78 %	7.25 %
4.	Wyodak Coal	5.82%	6.14 %	6.53 %	6.99 %
5.	Upper Freeport Coal	3.79 %	3.98 %	4.22 %	4.50 %
6.	Pocahontas Coal	4.71 %	4.97 %	5.29 %	5.66 %



**Gambar 4.10** Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta V_{\text{void}}$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.10 untuk keenam sistem tersebut. Dari Gambar 4.10 tersebut terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Batubara Beulah Zap memberikan *Error Gibbs* yang paling besar sedangkan pengukuran adsorpsi pada Batubara Upper Freeport memberikan tingkat *Error Gibbs* yang paling rendah. Tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta V_{\text{void}}$  pada Batubara Beulah Zap juga menunjukkan harga yang lebih tinggi dari Batubara Upper Freeport, ditandai dengan nilai slope yang lebih besar.

#### 4.1.5 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Faktor Kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Pada pengukuran faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) ini, masih menggunakan karakteristik yang sama seperti pengukuran variabel sebelumnya. Tabel 4.17 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon pada  $T = 318 \text{ K}$  dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta Z$  dari 0,0005 sampai dengan 0,0025. Dari Tabel tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata semakin besar jika besaran kesalahan  $\Delta Z$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 1,73%.

Tabel 4.18 pada temperatur 328 K juga menunjukkan hal yang sama seperti data kenaikan *Error Gibbs* pada temperatur 318 K (Tabel 4.17). Berdasarkan tabel tersebut, secara umum menunjukkan *Error Gibbs* rata-rata pada temperatur ini sedikit lebih kecil dibandingkan dengan data pada temperatur 318 K. Dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta Z$  dari 0,0005 sampai dengan 0,0025 terlihat adanya kenaikan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 1,49% setiap kenaikan 100%  $\Delta Z$ . Dari kedua data pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 menunjukkan kenaikan *Error Gibbs* rata-rata secara proporsional.

**Table 4.17** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 318 \text{ K}$

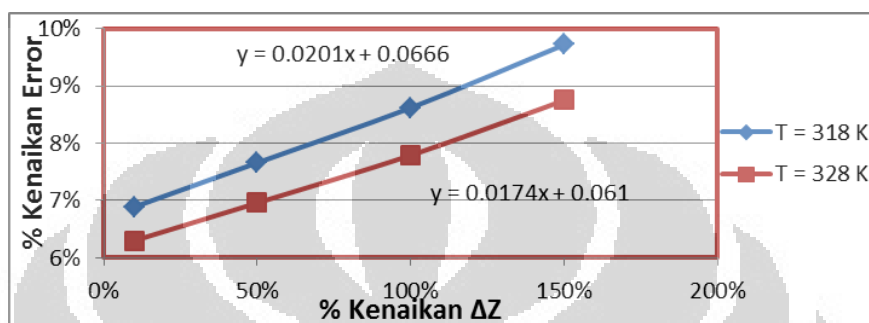
No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.92 %	8.99 %	10.20 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	7.80 %	8.85 %	10.04 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	7.68 %	8.71 %	9.87 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	7.61 %	8.62 %	9.76 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	7.56 %	8.54 %	9.66 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	7.52 %	8.48 %	9.58 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	7.52 %	8.46 %	9.54 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	7.55 %	8.47 %	9.52 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.61 %	8.51 %	9.54 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.71 %	8.58 %	9.58 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.82 %	8.67 %	9.66 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	7.66 %	8.62 %	9.72 %

**Table 4.18** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Active Carbon  $T = 328 \text{ K}$

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	7.18 %	8.11 %	9.16 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	7.08 %	7.98 %	9.01 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.95 %	7.83 %	8.84 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.90 %	7.76 %	8.75 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.85 %	7.70 %	8.66 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.83 %	7.66 %	8.60 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.85 %	7.65 %	8.58 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.90 %	7.68 %	8.59 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.98 %	7.74 %	8.63 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	7.09 %	7.84 %	8.70 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.96 %	7.79 %	8.75 %

Universitas Indonesia

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta Z$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.11 untuk kedua sistem dengan temperatur berbeda tersebut. Pada Gambar 4.11 tersebut menyimpulkan bahwa kedua Active Carbon ini memberikan pengaruh tingkat kenaikan  $\Delta Z$  yang tidak berbeda jauh yang ditunjukkan dengan nilai slope keduanya tidak berbeda yaitu 0,0201 pada  $T= 318\text{ K}$  dan 0,0174 pada  $T= 328\text{ K}$ .



**Gambar 4.11** Kenaikan %  $\Delta Z$  Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dari Active Carbon dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

#### Adsorpsi Gas $\text{CO}_2$

Tabel 4.19 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Batubara Pocahontas, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta Z$  yang sama pada percobaan adsorpsi  $\text{CH}_4$  dari 0,0005 sampai dengan 0,0025. Dari Tabel 4.19 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta Z$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata pada Batubara Pocahontas ini sebesar 0,92%.

Pada Tabel 4.20, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta Z$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari Tabel tersebut, jika  $\Delta Z$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Batubara Upper Freeport menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,76% sedangkan Batubara Beulah Zap menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 1,19%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base untuk ke enam sistem sistem pada adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  dengan tabel sebagai berikut:

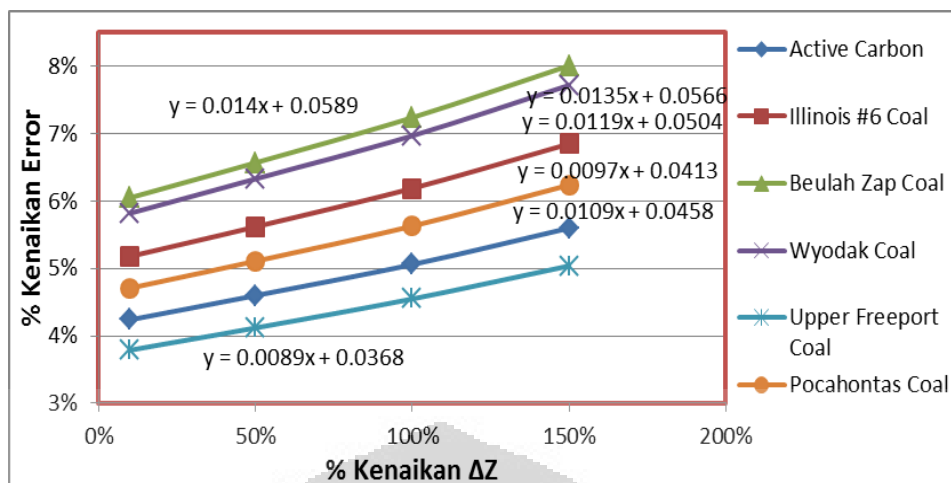
**Table 4.19** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Pressure* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Batubara Pocahontas

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	5.21 %	5.78 %	10.42 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	5.15 %	5.71 %	10.29 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	5.06 %	5.61 %	10.07 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	4.99 %	5.52 %	9.83 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	4.98 %	5.48 %	9.65 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	5.06 %	5.54 %	9.55 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	5.35 %	5.80 %	9.71 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	5.11 %	5.63 %	9.93 %

**Table 4.20** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  pada Sistem Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs Rata-Rata</i>			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	Active Carbon	4.24 %	4.60 %	5.06 %	5.60 %
2.	Illinois #6 Coal	5.18 %	5.62 %	6.19 %	6.85 %
3.	Beulah Zap Coal	6.05 %	6.57 %	7.24 %	8.01 %
4.	Wyodak Coal	5.82 %	6.33 %	6.97 %	7.72 %
5.	Upper Freeport Coal	3.79 %	4.12 %	4.55 %	5.04 %
6.	Pocahontas Coal	4.71 %	5.11 %	5.63 %	6.24 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan besaran  $\Delta Z$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.12 untuk keenam sistem tersebut. Dari Gambar 4.12 tersebut terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Batubara Beulah Zap memberikan *Error Gibbs* yang besar sedangkan pengukuran adsorpsi pada Batubara Upper Freeport memberikan tingkat *Error Gibbs* yang paling rendah. Tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta Z$  pada Batubara Beulah Zap juga menunjukkan harga yang lebih tinggi dari Batubara Upper Freeport, ditandai dengan nilai slope yang lebih besar.



**Gambar 4.12** Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed pressure*

#### 4.1.6 Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Paling Dominan pada Percobaan dengan *Fixed Pressure*

Berdasarkan penjelasan perhitungan *Error Gibbs* dan hasil evaluasi data pengukuran tiap jenis adsorben diatas yang telah dianalisa satu per satu, untuk melihat variabel mana yang paling berkontribusi dalam pengukuran ketidakpastian adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  maka dibuat ringkasan akan besarnya pengaruh dari masing-masing variabel ketelitian pengukuran terhadap kenaikan *Error Gibbs* terukur yang ditunjukkan oleh rata-rata slope dari grafik antara % kenaikan *Error Gibbs* terhadap % kenaikan ketelitian dari masing-masing variabel. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Berdasarkan Tabel 4.21 tersebut, variabel yang paling dominan pengaruhnya dalam pengukuran *Error Gibbs* dengan melihat slope yang paling besar adalah variabel pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) yang menunjukkan slope rata-rata *Error Gibbs* paling besar diantara variabel yang lainnya yaitu sebesar 4,31% pada tiap 100% kenaikan  $\Delta P$ . Nilai slope yang ditunjukkan pada tabel tersebut berbeda-beda, hal ini disebabkan karena karakteristik tiap jenis adsorben yang berbeda-beda. Selain itu adsorben yang berbeda-beda juga dapat menyebabkan kemampuan jumlah adsorpsi yang berbeda-beda, sehingga saat pengukuran adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  menunjukkan ketidakpastian yang berbeda-beda.

**Table 4.21** Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Percobaan Dengan *Fixed Pressure*

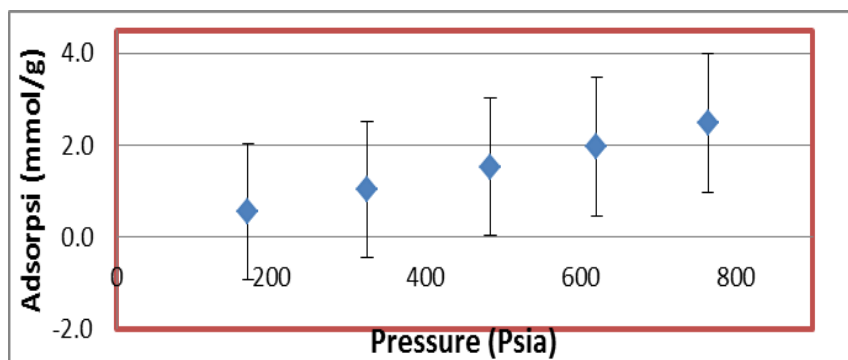
No.	Adsorben	Adsorbat	Slope Grafik % <i>Error Gibbs</i> Vs % Kenaikan Variabel Ketelitian				
			$\Delta P$	$\Delta V$	$\Delta T$	$\Delta V_{\text{void}}$	$\Delta Z$
1.	Active Carbon T=318 K	CH <sub>4</sub>	0.0545	1 x 10 <sup>-6</sup>	0.0053	0.0098	0.0625
2.	Active Carbon T=328 K	CH <sub>4</sub>	0.0513	9 x 10 <sup>-7</sup>	0.0041	0.0084	0.0547
3.	Active Carbon	CO <sub>2</sub>	0.0340	0.0002	0.0058	0.0030	0.0312
4.	Illinois #6 Coal	CO <sub>2</sub>	0.0415	0.0002	0.0073	0.0075	0.0384
5.	Beulah Zap Coal	CO <sub>2</sub>	0.0486	0.0002	0.0085	0.0085	0.0451
6.	Wyodak Coal	CO <sub>2</sub>	0.0466	0.0002	0.0084	0.0083	0.0435
7.	Upper Freeport Coal	CO <sub>2</sub>	0.0306	0.0001	0.0055	0.0050	0.0286
8.	Pocahontas Coal	CO <sub>2</sub>	0.0378	0.0001	0.0066	0.0068	0.0350
<b>Rata – rata</b>			0.0431	0.0001	0.0064	0.0072	0.0424

#### 4.2 Kesalahan Pengukuran Adsorben Gibbs pada Percobaan dengan *Fixed Volume*

Ketidakpastian pengukuran adsorpsi gibbs pada percobaan *fixed volume* dengan *fixed pressure* hanya berbeda saat gas diinjeksikan ke dalam adsorpsi kesetimbangan *cell*, sehingga untuk persamaan 4.1, 4.3 dan 4.4 sama dengan metode *fixed pressure* sedangkan untuk persamaan ketidakpastian jumlah injeksi ( $\sigma^2_{n_{inj}}$ ) dapat dituliskan sebagai berikut:

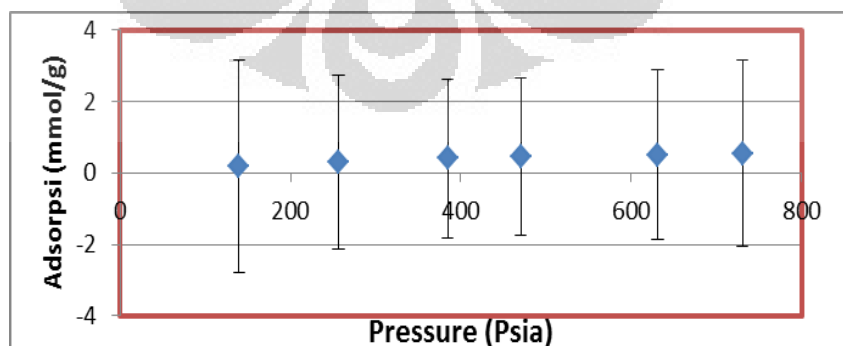
$$\sigma^2_{n_{inj}} = (n_{inj})^2 \left(\frac{\sigma_V}{V}\right)^2 + (V)^2 \sum_{k=1}^N (\sigma_{\rho_i}^2 + \sigma_{\rho_f}^2) \quad (4.5)$$

Sama halnya dengan *fixed pressure*, persamaan tersebut mempengaruhi besaran pengukuran ketelitian tiap variabel yaitu  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{\text{void}}$  dan faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ). Besaran kesalahan untuk setiap perhitungan *fixed volume* sama seperti yang dipakai pada perhitungan *fixed pressure* yaitu  $\Delta P = 1$  psia,  $\Delta V = 0,02$  cm<sup>3</sup>,  $\Delta T = 0,1$  K,  $\Delta V_{\text{void}} = 0,3$  cm<sup>3</sup> dan  $\Delta Z = 0,0005$ . Gambar 4.13 menunjukkan tipikal hasil pengukuran tiap titik adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada salah satu adsorben dengan kesalahan pengukuran di setiap titik yang ditunjukkan oleh *error bar* pada grafik tersebut.



**Gambar 4.13** Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  pada Zeolit Alam Malang  $T= 303 \text{ K}$  Terhadap *Error Bar* Dari Percobaan Menggunakan *Fixed Volume*

Gambar 4.14 menunjukkan salah satu tipikal hasil pengukuran adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Zeolit Alam Malang pada  $T= 303 \text{ K}$  dengan kesalahan pengukuran di tiap titik percobaan yang ditunjukkan oleh *error bar* pada Gambar tersebut. *Error bar* tersebut diperoleh dengan menggunakan basis besaran kesalahan yang sama seperti pada Gambar 4.13. Dari kedua grafik tersebut, terlihat bahwa kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan kenaikan tekanan sehingga mempengaruhi *Error Gibbs* yang dihasilkan. Namun *error bar* yang ditunjukkan pada kedua gambar ini berbeda dengan *error bar* pada percobaan menggunakan *fixed pressure* (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2) dimana ada pengaruh dari jumlah volume *dozing* sehingga mempengaruhi ketidakpastian pengukuran percobaan pada metode *fixed volume* yang ditunjukkan pada *Error Gibbs* yang cukup besar. Untuk lebih detail mengenai *Error Gibbs* yang dihasilkan pada tiap variabel, akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.



**Gambar 4.14** Tipikal Hubungan Tekanan dan Adsorpsi gas  $\text{CO}_2$  pada Zeolit Alam Malang pada  $T=303 \text{ K}$  Terhadap *Error Bar* Dari Percobaan Menggunakan *Fixed Volume*



#### 4.2.1 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Tekanan ( $\Delta P$ ) pada Percobaan dengan *Fixed Volume*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Tabel 4.22 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta P$  yang sama seperti pada percobaan dengan tekanan tetap dari 1 psia sampai dengan 2,5 psia. Dari Tabel 4.22 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta P$  dinaikkan. Dengan kenaikan kesalahan  $\Delta P$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 125,16%.

**Table 4.22** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

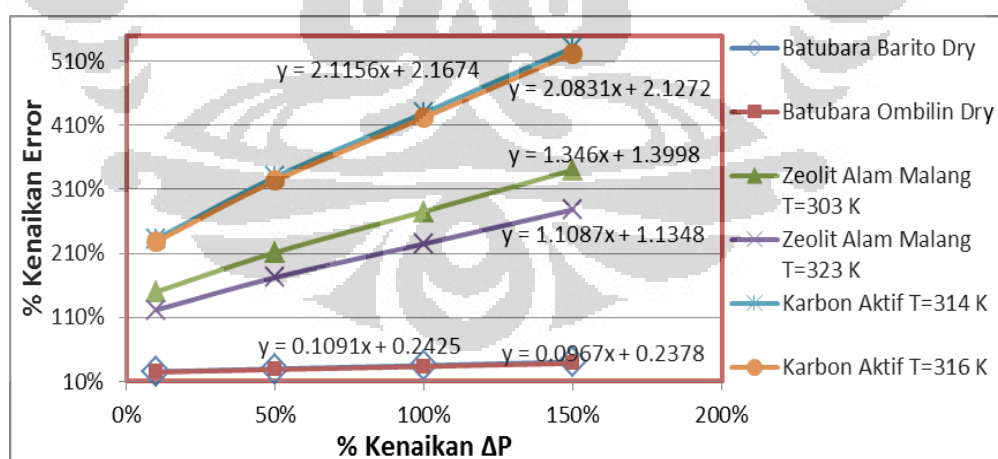
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	208.84 %	271.34 %	334.98 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	210.29 %	273.62 %	338.04 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	211.74 %	275.61 %	340.57 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	212.84 %	277.26 %	342.73 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	213.83 %	278.74 %	344.68 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	211.51 %	275.32 %	340.20 %

Pada Tabel 4.23, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama setiap sistem pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar ketika  $\Delta P$  dinaikkan setiap 50% dari *basic case* yaitu 1 psia. Dari tabel tersebut, jika  $\Delta P$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Batubara Ombilin menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 8,54% sedangkan Karbon Aktif pada T= 309 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 196,95%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada Tabel 4.23 berikut ini.

**Table 4.23** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $CH_4$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	Batubara Barito Dry	25.33 %	29.80 %	35.01 %	40.69 %
2.	Batubara Ombilin Dry	24.76 %	28.68 %	33.30 %	38.37 %
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	150.16 %	211.51 %	275.32 %	340.20 %
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	121.79 %	172.48 %	225.01 %	278.35 %
5.	Karbon Aktif T=314 K	232.60 %	329.31 %	429.55 %	531.34 %
6.	Karbon Aktif T=316 K	228.31 %	323.58 %	422.28 %	522.46 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta P$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.15 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Karbon Aktif memberikan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sedangkan pada Batubara Barito dan Ombilin memberikan tingkat error yang paling rendah, hal ini ditandai dengan nilai slope antara Batubara, Zeolit dan Karbon Aktif yang berbeda jauh.



**Gambar 4.15** Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $CH_4$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Volume*

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 4.24 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T=303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta P$  sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 1 psia sampai dengan 2,5 psia. Dari Tabel 4.24 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata semakin besar secara signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta P$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta P$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 242,69 %.

**Table 4.24** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

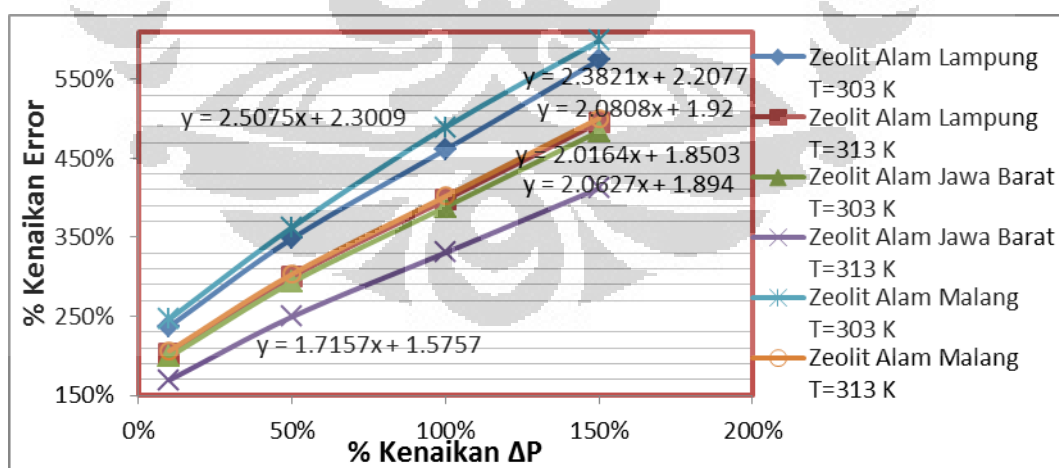
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	445.10 %	593.07 %	741.10 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	363.71 %	483.99 %	604.43 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	329.41 %	437.31 %	545.52 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	323.12 %	427.93 %	533.23 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	343.12 %	451.54 %	560.95 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	373.05 %	488.84 %	606.02 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	362.92 %	489.45 %	598.54 %

Berdasarkan Tabel 4.25 tersebut, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta P$  dinaikkan 0,5 kalinya. Dari tabel tersebut, jika  $\Delta P$  dinaikkan 100% menunjukkan bahwa Zeolit Alam Jawa Barat pada T=313 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 161,11% sedangkan Zeolit Alam Malang pada T=303 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar 242,69%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada tabel berikut ini.

**Table 4.25** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $CO_2$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		Basic Case ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	237.59 %	348.62 %	461.11 %	574.22 %
2.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	203.88 %	300.19 %	397.57 %	495.40 %
3.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	199.18 %	293.34 %	388.53 %	484.15 %
4.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	169.61 %	249.72 %	330.72 %	412.09 %
5.	Zeolit Alam Malang T=303 K	246.76 %	362.92 %	489.45 %	598.54 %
6.	Zeolit Alam Malang T=313 K	206.65 %	303.71 %	401.97 %	500.71 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta P$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.16 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, dapat ditunjukkan bahwa pengukuran adsorpsi pada Zeolit Alam Malang dengan suhu 303 K memberikan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sedangkan pada Zeolit Alam Malang dengan suhu 313 K memberikan tingkat error yang paling rendah, hal ini ditandai dengan nilai slope antara Batubara, Zeolit dan Karbon Aktif yang berbeda jauh.



**Gambar 4.16** Kenaikan % Tekanan Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas  $CO_2$  dengan *Fixed Volume*

#### 4.2.2 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Volume ( $\Delta V$ ) pada Percobaan Dengan *Fixed Volume*

##### Adsorpsi Gas $\text{CH}_4$

Tabel 4.26 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  pada Zeolit Alam Malang pada  $T = 303 \text{ K}$ , dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V$  dari  $0,02 \text{ cm}^3$  sampai dengan  $0,05 \text{ cm}^3$ . Dari Tabel 4.26 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata yang dihasilkan naik namun tidak signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta V$  dinaikkan. Dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V$  100% menunjukkan kenaikan *Error Gibbs* rata-rata yang sangat kecil sebesar  $0,0000006\%$ .

**Table 4.26** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  pada Zeolit Alam Malang  $T = 303 \text{ K}$

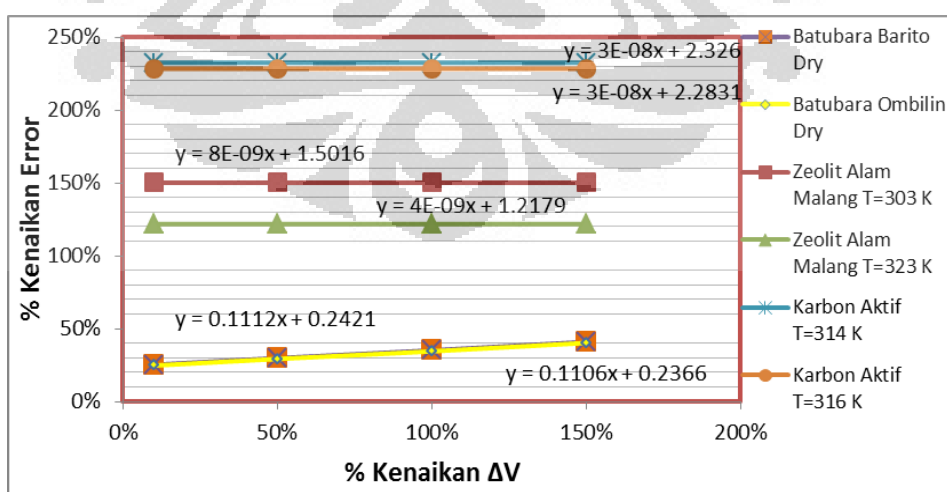
No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V = 0,02$ )	$\Delta V = 0,03$	$\Delta V = 0,04$	$\Delta V = 0,05$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	148.91 %	148.91 %	148.91 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	149.44 %	149.44 %	149.44 %
3.	483.40	1.5239	150.32%	150.32%	150.32%	150.32 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	150.83 %	150.83 %	150.83 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	151.28 %	151.28 %	151.28 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	150.16 %	150.16 %	150.16 %

Pada Tabel 4.27, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama setiap sistem pada adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  menunjukkan hal yang serupa yaitu *Error Gibbs* rata-rata yang dihasilkan sama untuk jenis Zeolit dan Karbon Aktif sedangkan pada jenis Batubara Barito dan Batubara Ombilin semakin meningkat saat  $\Delta V$  dinaikkan setiap 50% dari *basic case* yaitu  $0,02 \text{ cm}^3$ . Dari Tabel tersebut, jika  $\Delta V$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Zeolit Alam Malang pada  $T = 323 \text{ K}$  menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar  $0,0000003\%$  sedangkan Batubara Barito menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar  $9,84\%$ .

**Table 4.27** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $CH_4$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	Batubara Barito Dry	25.33 %	29.85 %	35.17 %	40.98 %
2.	Batubara Ombilin Dry	24.76 %	29.27 %	34.56 %	40.32 %
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	150.16 %	150.16 %	150.16 %	150.16 %
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	121.79 %	121.79 %	121.79 %	121.79 %
5.	Karbon Aktif T=314 K	232.60 %	232.60 %	232.60 %	232.60 %
6.	Karbon Aktif T=316 K	228.31 %	228.31 %	228.31 %	228.31 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta V$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.17 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Karbon Aktif memberikan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sedangkan pada Batubara Barito dan Ombilin memberikan tingkat error yang paling rendah. Dengan melihat grafik tersebut, *Error Gibbs* rata-rata yang ditunjukkan pada jenis adsorben Batubara, Zeolit dan Karbon Aktif tersebut tidak berpengaruh terhadap kenaikan besaran kesalahan  $\Delta V$  karena ketiga jenis adsorben tersebut menunjukkan nilai slope yang tidak berbeda jauh.



**Gambar 4.17** Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $CH_4$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Volume*

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 4.28 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan tekanan tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V$  sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 0,02 cm<sup>3</sup> sampai dengan 0,05 cm<sup>3</sup>. Dari Tabel 4.28 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata menaik namun tidak signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta V$  dinaikkan. Dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V$  100% menunjukkan kenaikan *Error Gibbs* rata-rata yang sangat kecil hanya sebesar 0.0000002%.

**Table 4.28** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

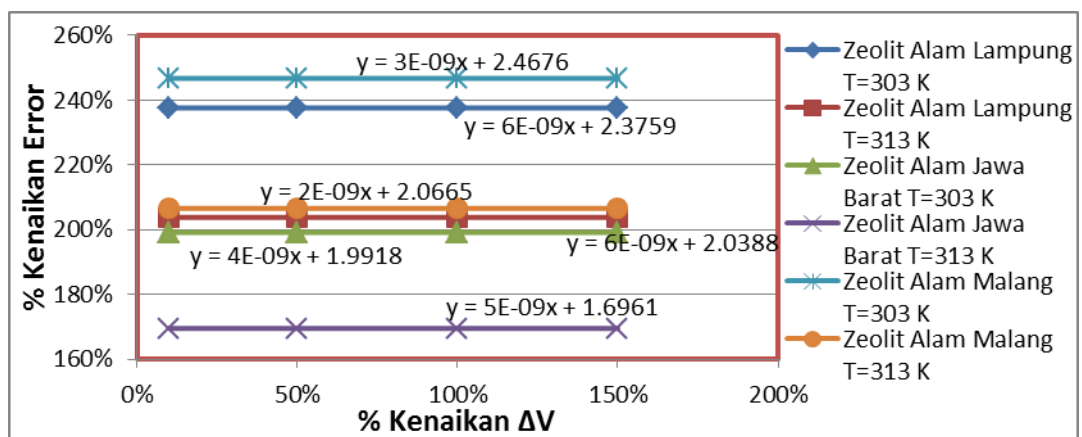
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	297.31 %	297.31 %	297.31 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	243.84 %	243.84 %	243.84 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	222.32 %	222.32 %	222.32 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	219.51 %	219.51 %	219.51 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	237.06 %	237.06 %	237.06 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	260.56 %	260.56 %	260.56 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	246.76 %	246.76 %	246.76 %

Pada Tabel 4.29, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan *Error Gibbs* rata-rata yang dihasilkan naik secara tidak signifikan saat  $\Delta V$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari Tabel 4.29 tersebut, jika  $\Delta V$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Zeolit Alam Malang menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata dengan kenaikan yang paling kecil hanya sebesar 0,0000002% sedangkan Zeolit Alam Lampung pada menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata dengan kenaikan yang paling besar sebesar 0,0000005%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada Tabel 4.29 berikut.

**Table 4.29** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	237.59 %	237.59 %	237.59 %	237.59 %
2.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	203.88 %	203.88 %	203.88 %	203.88 %
3.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	199.18 %	199.18 %	199.18 %	199.18 %
4.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	169.61 %	169.61 %	169.61 %	169.61 %
5.	Zeolit Alam Malang T=303 K	246.76 %	246.76 %	246.76 %	246.76 %
6.	Zeolit Alam Malang T=313 K	206.65 %	206.65 %	206.65 %	206.65 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta V$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.18 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, dapat ditunjukkan bahwa pengukuran adsorpsi pada Karbon Aktif memberikan pengaruh tingkat kenaikan  $\Delta V$  untuk ke enam sistem Zeolit ini tidak berbeda jauh yang ditandai dengan harga slope yang saling berdekatan.



**Gambar 4.18** Kenaikan % Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan *Fixed Volume*



### 4.2.3 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Temperatur ( $\Delta T$ ) pada Percobaan Dengan *Fixed Volume*

#### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Tabel 4.30 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh dengan percobaan menggunakan volume tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta T$  dari 0,1 K sampai dengan 0,25 K. Dari Tabel 4.30 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta T$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta T$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 6,44%.

**Table 4.30** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

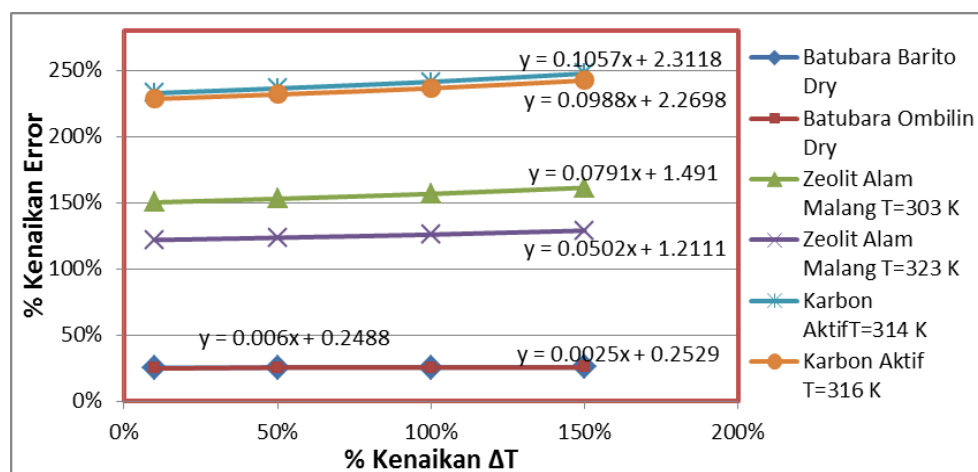
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	151.24 %	154.44 %	158.46 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	151.67 %	154.75 %	158.61 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	153.12 %	156.96 %	161.76 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	153.84 %	157.96 %	163.10 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	154.51 %	158.92 %	164.41 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	152.88 %	156.60 %	161.27 %

Berdasarkan Tabel 4.31 berikut, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama setiap sistem menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta T$  dinaikkan setiap 50% dari *basic case* yaitu 0,1 K. Dari Tabel tersebut, jika  $\Delta T$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Batubara Barito menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,20% sedangkan Karbon Aktif pada T= 314 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 8,6%.

**Table 4.31** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $CH_4$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	Batubara Barito Dry	25.33 %	25.41 %	25.53 %	25.68 %
2.	Batubara Ombilin Dry	24.76 %	24.87 %	25.03 %	25.23 %
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	150.16 %	152.88 %	156.60 %	161.27 %
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	121.79 %	123.51 %	125.87 %	128.85 %
5.	Karbon Aktif T=314 K	232.60 %	236.22 %	241.20 %	247.45 %
6.	Karbon Aktif T=316 K	228.31 %	231.69 %	236.34 %	242.19 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta T$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.19 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Karbon Aktif dengan suhu 314 K memberikan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sedangkan pada Batubara Barito dan Ombilin memberikan tingkat error yang paling rendah, hal ini ditandai dengan harga slope pada Gambar 4.19 yang berbeda jauh.



**Gambar 4.19** Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $CH_4$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Volume*

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 4.32 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta T$  sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 0,1 K sampai dengan 0,25 K. Dari Tabel 4.32 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta T$  dinaikkan. Dengan kenaikan kesalahan  $\Delta T$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 7,94%.

**Table 4.32** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

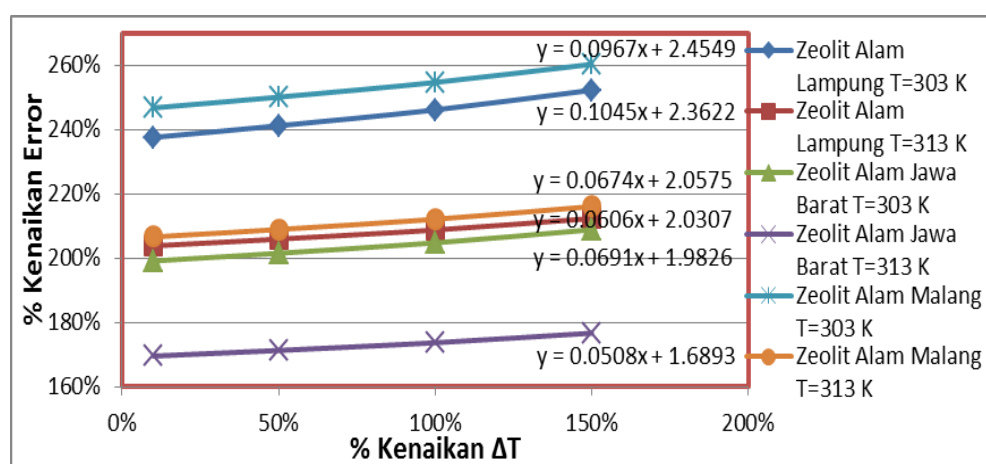
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	297.49 %	297.74 %	298.07 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	244.35 %	245.07 %	246.00 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	223.57 %	225.31 %	227.53 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	221.67 %	224.67 %	228.46 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	242.87 %	250.79 %	260.61 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	270.84 %	284.62 %	301.40 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	250.13 %	254.70 %	260.34 %

Pada Tabel 4.33, dengan besaran *Error Gibbs* yang masih sama pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta T$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari Tabel tersebut, jika  $\Delta T$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Zeolit Alam Jawa Barat pada T= 313 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 4,15% sedangkan Zeolit Alam Lampung pada T= 303 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 8,57%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada Tabel 4.33 berikut ini.

**Table 4.33** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	237.59 %	241.23 %	246.16 %	252.27 %
2.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	203.88 %	205.97 %	208.83 %	212.40 %
3.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	199.18 %	201.57 %	204.83 %	208.89 %
4.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	169.61 %	171.36 %	173.76 %	176.75 %
5.	Zeolit Alam Malang T=303 K	246.76 %	250.13 %	254.70 %	260.34 %
6.	Zeolit Alam Malang T=313 K	206.65 %	208.97 %	212.15 %	216.12 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta T$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.20 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, dapat ditunjukkan bahwa pengukuran adsorpsi pada Zeolit Alam Malang dengan suhu 303 K memberikan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sedangkan pada Zeolit Alam Jawa Barat dengan suhu 303 K memberikan tingkat error yang paling rendah. Tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta T$  pada Zeolit Alam Malang T=303 K lebih tinggi dari Zeolit Alamat Jawa Barat T=303 K, hal ini ditandai dengan harga slope pada Gambar 4.19 yang berbeda jauh.



**Gambar 4.20** Kenaikan % Temperatur Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan *Fixed Volume*

#### 4.2.4 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Void Volume ( $\Delta V_{\text{void}}$ ) pada Percobaan Dengan *Fixed Volume*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Tabel 4.34 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari 0,3 cm<sup>3</sup> sampai dengan 0,75 cm<sup>3</sup>. Dari Tabel 4.34 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik namun tidak terlalu besar jika besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,004%.

**Table 4.34** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang T = 303 K

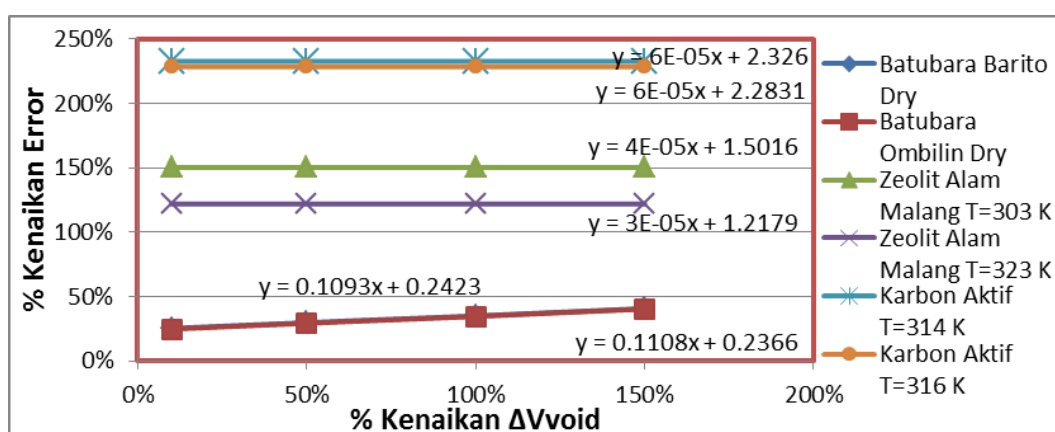
No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	169.90	0.5556	148.915 %	148.915 %	148.915 %	148.915 %
2.	324.10	1.0339	149.440 %	149.440 %	149.441 %	149.442 %
3.	483.40	1.5239	150.315 %	150.316 %	150.318 %	150.320 %
4.	620.50	1.9616	150.830 %	150.832 %	150.835 %	150.838 %
5.	764.70	2.4894	151.282 %	151.285 %	151.289 %	151.294 %
<b>Rata – rata</b>			150.156 %	150.158 %	150.160 %	150.162 %

Berdasarkan Tabel 4.35, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama setiap sistemnya menunjukkan hal yang sama yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan setiap 50% dari *basic case* yaitu 0,3 cm<sup>3</sup>. Dari Tabel 4.35 tersebut, jika  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Zeolit Alam Malang pada T= 323 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 0,002% sedangkan Batubara Ombilin menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 9,82%.

**Table 4.35** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	Batubara Barito Dry	25.33 %	29.77 %	35.00 %	40.71 %
2.	Batubara Ombilin Dry	24.76 %	29.28 %	34.58 %	40.35 %
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	150.156 %	150.158 %	150.160 %	150.162 %
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	121.793 %	121.794 %	121.795 %	121.797 %
5.	Karbon Aktif T=314 K	232.605 %	232.607 %	232.610 %	232.614 %
6.	Karbon Aktif T=316 K	228.306 %	228.308 %	228.310 %	228.314 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.21 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut terlihat bahwa tingkat pengaruh dari kenaikan %  $\Delta V_{\text{void}}$  pada sistem Zeolit dan Karbon Aktif tidak berbeda jauh, sedangkan Batubara Barito dan Ombilin menunjukkan tingkat kenaikan %  $\Delta V_{\text{void}}$  yang lebih besar dari Zeolit dan Karbon Aktif, hal tersebut ditandai dengan slope dengan sensitifitas yang lebih besar.



**Gambar 4.21** Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Volume*

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 4.36 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  yang masih sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 0,3 cm<sup>3</sup> sampai dengan 0,75 cm<sup>3</sup>. Dari Tabel 4.36 tersebut, terlihat bahwa kenaikan *Error Gibbs* rata-rata naik namun tidak signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 0,002%.

**Table 4.36** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

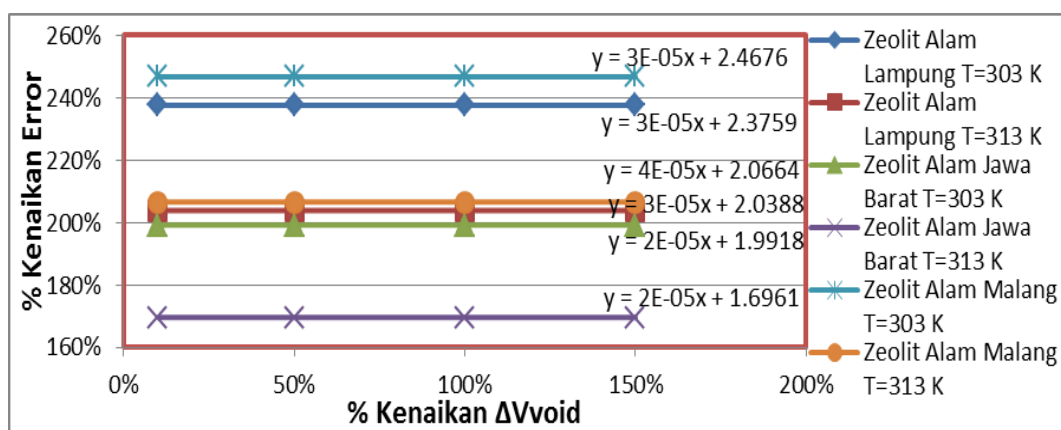
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	139.6	0.2031	297.309 %	297.309 %	297.309 %	297.310 %
2.	256.5	0.3147	243.837 %	243.838 %	243.838 %	243.838 %
3.	384.7	0.4043	222.319 %	222.319 %	222.320 %	222.321 %
4.	470.6	0.4523	219.508 %	219.509 %	219.510 %	219.512 %
5.	631.2	0.5116	237.056 %	237.057 %	237.060 %	237.063 %
6.	730.9	0.5354	260.555 %	260.558 %	260.561 %	260.566 %
<b>Rata – rata</b>			246.764 %	246.765 %	246.766 %	246.768 %

Berdasarkan Tabel 4.37, dengan menggunakan besaran *Error Gibbs* yang masih sama seperti adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta V_{\text{void}}$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari tabel tersebut, dengan kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  100% menunjukan bahwa ke enam sistem ini menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang sama jumlahnya sebesar 0,002%.

**Table 4.37** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	237.592 %	237.593 %	237.594 %	237.596 %
2.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	203.883 %	203.884 %	203.885 %	203.887 %
3.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	199.178 %	199.179 %	199.180 %	199.181 %
4.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	169.615 %	169.615 %	169.617 %	169.618 %
5.	Zeolit Alam Malang T=303 K	246.764 %	246.765 %	246.766 %	246.768 %
6.	Zeolit Alam Malang T=313 K	206.645 %	206.646 %	206.648 %	206.650 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta V_{\text{void}}$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.22 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut dapat ditunjukkan bahwa tingkat pengaruh dari kenaikan %  $\Delta V_{\text{void}}$  pada ke enam sistem Zeolit ini tidak berbeda jauh, hal ini ditandai dengan nilai slope yang saling berdekatan sehingga dapat dikatakan bahwa *Error Gibbs* yang dihasilkan tidak berpengaruh oleh kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  secara berarti.



**Gambar 4.22** Kenaikan % Void Volume Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas  $\text{CO}_2$  dengan *Fixed Volume*



#### 4.2.5 Pengaruh Ketelitian Pengukuran Faktor Kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) pada Percobaan Dengan *Fixed Volume*

##### Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub>

Pada pengukuran faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) ini, karakteristik adsorben yang digunakan masih sama seperti pengukuran variabel sebelumnya. Tabel 4.38 menunjukkan besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta Z$  dari 0,0005 sampai dengan 0,0025. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara signifikan jika besaran kesalahan  $\Delta Z$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 36,79%.

**Table 4.38** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

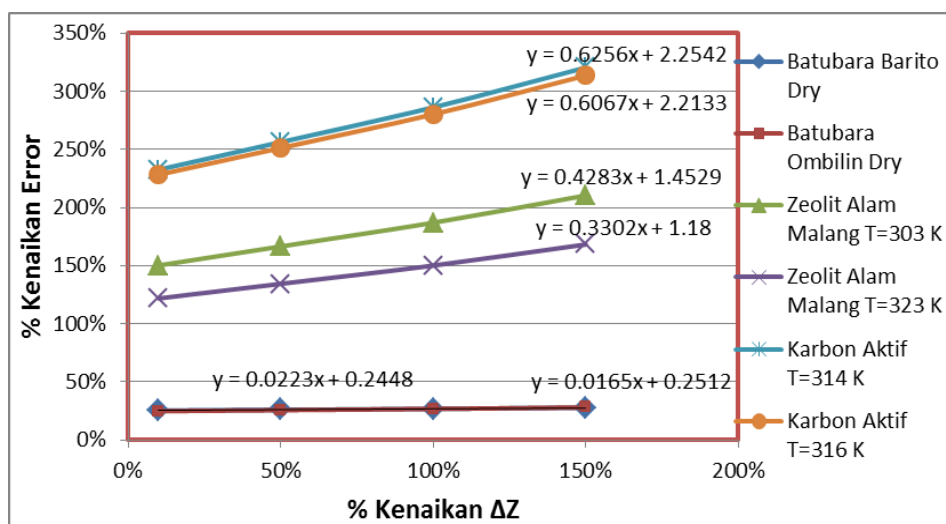
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	166.61 %	188.61 %	213.60 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	166.39 %	187.56 %	211.69 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	166.58 %	187.00 %	210.35 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	166.49 %	186.20 %	208.84 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	166.34 %	185.38 %	207.30 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	166.48 %	186.95 %	210.36 %

Pada Tabel 4.39, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama setiap sistem pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta Z$  dinaikkan setiap 50% dari *basic case* yaitu 0,0005. Dari tabel tersebut, jika  $\Delta Z$  dinaikkan 100% menunjukkan bahwa Batubara Barito menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 1,36% sedangkan Karbon Aktif pada T= 314 K menghasilkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 53,58%.

**Table 4.39** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	Batubara Barito Dry	25.33 %	25.91 %	26.69 %	27.65 %
2.	Batubara Ombilin Dry	24.76 %	25.55 %	26.61 %	27.89 %
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	150.16 %	166.48 %	186.95 %	210.36 %
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	121.79 %	134.31 %	150.08 %	168.20 %
5.	Karbon Aktif T=314 K	232.60 %	256.30 %	286.18 %	320.52 %
6.	Karbon Aktif T=316 K	228.31 %	251.26 %	280.24 %	313.58 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.23 untuk ke enam sistem tersebut. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pengukuran adsorpsi pada Karbon Aktif dengan suhu 314 K memberikan *Error Gibbs* paling besar sedangkan Batubara Barito dan Ombilin memberikan *Error Gibbs* paling kecil, hal ini ditandai dengan nilai slope pada gambar yang berbeda jauh.



**Gambar 4.23** Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata pada Adsorpsi Gas  $\text{CH}_4$  dengan Menggunakan Percobaan *Fixed Volume*

### Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 4.40 menunjukkan salah satu tipikal besaran *Error Gibbs* yang diperoleh untuk percobaan dengan volume tetap dari adsorpsi gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang pada T= 303 K, dengan mengubah besaran kesalahan  $\Delta Z$  sama dengan percobaan adsorpsi CH<sub>4</sub> dari 0,0005 sampai dengan 0,0025. Dari Tabel 4.40 tersebut, terlihat bahwa *Error Gibbs* rata-rata naik secara proporsional jika besaran kesalahan  $\Delta Z$  dinaikkan. Secara umum dengan kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  100% maka akan menaikkan *Error Gibbs* rata-rata sebesar 16,55%.

**Table 4.40** Persentase *Error Gibbs* Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* Dari Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Malang T= 303 K

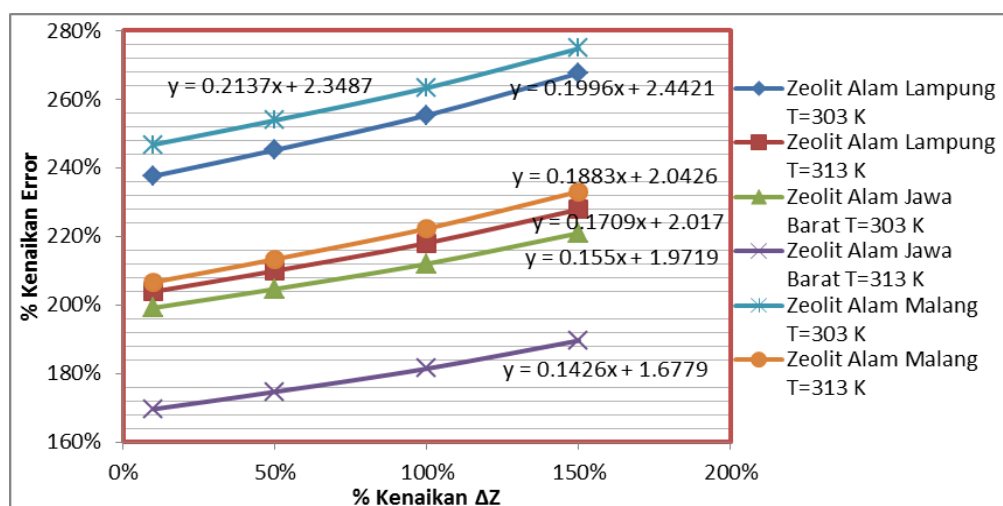
No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	<i>Error Gibbs</i>			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	298.42 %	299.96 %	301.93 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	246.37 %	249.87 %	254.30 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	227.07 %	233.56 %	241.65 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	226.35 %	235.59 %	246.96 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	249.22 %	265.31 %	284.66 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	275.69 %	295.58 %	319.33 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	253.85 %	263.31 %	274.81 %

Berdasarkan Tabel 4.41, dengan besaran *Error Gibbs* yang sama pada adsorpsi gas CH<sub>4</sub> menunjukkan hal yang serupa yaitu rata-rata *Error Gibbs* yang dihasilkan semakin besar saat  $\Delta Z$  dinaikkan 50% dari *basic case*. Dari Tabel 4.11 tersebut, jika  $\Delta Z$  dinaikkan 100% maka dapat disimpulkan bahwa Zeolit Alam Jawa Barat pada T= 313 K menunjukkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling kecil sebesar 11,83% sedangkan Zeolit Alam Lampung pada T= 303 K menunjukkan *Error Gibbs* rata-rata yang paling besar sebesar 17,74%. Untuk lebih jelas, akan ditampilkan data base tiap adsorben pada tabel berikut.

**Table 4.41** Persentase *Error Gibbs* Rata-Rata Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  untuk Percobaan Dengan *Fixed Volume* pada Sistem Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub>

No.	Adsorben	<i>Error Gibbs</i> Rata-Rata			
		<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	237.59 %	245.20 %	255.33 %	267.62 %
2.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	203.88 %	209.96 %	218.06 %	227.89 %
3.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	199.18 %	204.67 %	212.01 %	220.96 %
4.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	169.61 %	174.68 %	181.44 %	189.64 %
5.	Zeolit Alam Malang T=303 K	246.76 %	253.85 %	263.31 %	274.81 %
6.	Zeolit Alam Malang T=313 K	206.65 %	213.36 %	222.29 %	233.10 %

Kenaikan % *Error Gibbs* rata-rata terhadap kenaikan kesalahan  $\Delta Z$  dapat ditunjukkan secara lebih jelas pada Gambar 4.24 untuk ke enam sistem tersebut. Dengan melihat grafik tersebut, tingkat sensitifitas terhadap perubahan  $\Delta Z$  pada Zeolit Alam Malang dengan T= 303 K menunjukkan harga yang lebih tinggi sedangkan pada Zeolit Alam Jawa Barat dengan T=313 K menunjukkan harga sensitifitas yang lebih rendah, hal ini ditandai dengan nilai slope yang pada Gambar 4.24 dimana rentang slope ke enam sistem ini berbeda jauh.



**Gambar 4.24** Kenaikan % Faktor Kompresibilitas Terhadap % Kenaikan *Error Gibbs* Rata-Rata Zeolit Pada Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> dengan *Fixed Volume*

#### 4.2.6 Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Paling Dominan pada Percobaan dengan *Fixed Volume*

Berdasarkan penjelasan perhitungan *Error Gibbs* dan hasil evaluasi data pengukuran tiap jenis adsorben diatas yang telah dianalisa satu per satu, untuk melihat variabel mana yang paling berkontribusi dalam pengukuran ketidakpastian adsorpsi gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> maka dibuat ringkasan akan besarnya pengaruh dari masing-masing variabel ketelitian pengukuran terhadap kenaikan *Error Gibbs* terukur yang ditunjukkan oleh rata-rata slope dari grafik antara % kenaikan *Error Gibbs* terhadap % kenaikan ketelitian dari masing-masing variabel. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.42.

**Table 4.42** Pengaruh Variabel Ketelitian Pengukuran Percobaan Dengan *Fixed Volume*

No.	Adsorben	Adsorbat	Slope Grafik % <i>Error Gibbs</i> Vs % Kenaikan Variabel Ketelitian				
			$\Delta P$	$\Delta V$	$\Delta T$	$\Delta V_{\text{void}}$	$\Delta Z$
1.	Batubara Barito Dry	CH <sub>4</sub>	0.1091	0.1112	0.0060	0.1108	0.0790
2.	Batubara Ombilin Dry	CH <sub>4</sub>	0.0967	0.1106	0.0025	0.1093	0.0605
3.	Zeolit Alam Malang T=303 K	CH <sub>4</sub>	1.3460	8 x 10 <sup>-9</sup>	0.0791	4 x 10 <sup>-5</sup>	1.3352
4.	Zeolit Alam Malang T=323 K	CH <sub>4</sub>	1.1087	4 x 10 <sup>-9</sup>	0.0502	3 x 10 <sup>-5</sup>	1.0379
5.	Karbon Aktif T=314 K	CH <sub>4</sub>	2.1156	3 x 10 <sup>-8</sup>	0.1057	6 x 10 <sup>-5</sup>	1.9678
6.	Karbon Aktif T=316 K	CH <sub>4</sub>	2.0831	3 x 10 <sup>-8</sup>	0.0988	6 x 10 <sup>-5</sup>	1.9124
7.	Zeolit Alam Lampung T=303 K	CO <sub>2</sub>	2.3821	6 x 10 <sup>-9</sup>	0.1045	3 x 10 <sup>-5</sup>	0.7576
8.	Zeolit Alam Lampung T=313 K	CO <sub>2</sub>	2.0627	6 x 10 <sup>-9</sup>	0.0606	3 x 10 <sup>-5</sup>	0.6073
9.	Zeolit Alam Jawa Barat T=303 K	CO <sub>2</sub>	2.0164	4 x 10 <sup>-9</sup>	0.0691	2 x 10 <sup>-5</sup>	0.5557
10.	Zeolit Alam Jawa Barat T=313 K	CO <sub>2</sub>	1.7157	5 x 10 <sup>-9</sup>	0.0508	2 x 10 <sup>-5</sup>	0.507
11.	Zeolit Alam Malang T=303 K	CO <sub>2</sub>	2.5075	3 x 10 <sup>-9</sup>	0.0967	3 x 10 <sup>-5</sup>	0.7124
12.	Zeolit Alam Malang T=313 K	CO <sub>2</sub>	2.0808	2 x 10 <sup>-9</sup>	0.0674	4 x 10 <sup>-5</sup>	0.6650
<b>Rata – rata</b>			1.6354	0.0185	0.0660	0.0184	0.8498

Berdasarkan Tabel 4.42, nilai slope dari grafik % *Error Gibbs* terhadap % kenaikan dari ke-5 variabel ketelitian yang ditunjukkan pada tabel tersebut menunjukkan hasil yang bervariasi, dimana variabel yang paling dominan pengaruhnya dalam pengukuran *Error Gibbs* dengan melihat slope yang paling

besar adalah variabel pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) yang menunjukkan slope rata-rata *Error Gibbs* paling besar diantara variabel yang lainnya yaitu sebesar 163,54% pada tiap 100% kenaikan  $\Delta P$ . Hal ini disebabkan karena adsorben yang berbeda-beda dapat menyebabkan kemampuan jumlah adsorpsi yang berbeda-beda, sehingga saat pengukuran adsorpsi gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  menunjukkan ketidakpastian yang berbeda-beda. Disamping itu jumlah volume *dozing* pada pengukuran setiap adsorben dengan menggunakan metode *fixed volume* mempengaruhi nilai ketidakpastian pengukuran ketelitian pada variabel  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{\text{void}}$  dan  $\Delta Z$  yang ditunjukkan oleh *Error Gibbs* dan harga slope rata-rata yang cukup besar jika dibandingkan dengan metode *fixed pressure*. Hal ini sesuai dengan penelitian Sayed Mohammad, dkk (2009) yang menyimpulkan bahwa metode *fixed volume* lebih rentan terhadap kesalahan pada tekanan tinggi dibandingkan dengan metode *fixed pressure*.

## BAB 5

### KESIMPULAN

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

1. Pada pengukuran ketidakpastian adsorpsi baik menggunakan metode tekanan tetap (*fixed pressure*) maupun metode volume tetap (*fixed volume*) menunjukkan bahwa besaran kesalahan variabel  $\Delta P$ ,  $\Delta V$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta V_{\text{void}}$  dan  $\Delta Z$  dapat mempengaruhi *Error Gibbs* hasil percobaan.
2. Pada metode tekanan tetap (*fixed pressure*), pengaruh variabel ketelitian pengukuran yang paling dominan adalah ketelitian pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) dengan kenaikan *Error Gibbs* sebesar 4,31% setiap 100% kenaikan  $\Delta P$ . Kemudian diikuti oleh ketelitian dalam perhitungan faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) dengan kenaikan *Error Gibbs* sebesar 4,24% setiap 100% kenaikan  $\Delta P$ , sedangkan variabel yang lain tidak terlalu signifikan.
3. Pada metode volume tetap (*fixed volume*), pengaruh variabel ketelitian pengukuran yang paling dominan adalah ketelitian pengukuran tekanan ( $\Delta P$ ) dengan kenaikan *Error Gibbs* sebesar 163,54% setiap 100% kenaikan  $\Delta P$ . Kemudian diikuti oleh ketelitian dalam perhitungan faktor kompresibilitas ( $\Delta Z$ ) dengan kenaikan *Error Gibbs* sebesar 84,98% setiap 100% kenaikan  $\Delta P$  sedangkan variabel yang lain tidak terlalu signifikan.
4. Kenaikan % kesalahan pada percobaan *fixed pressure* yaitu 3,79% sampai 6,89% lebih kecil dari kenaikan % kesalahan pada percobaan *fixed volume* yaitu 24,76% sampai 246,76%.
5. Jumlah volume dozing sangat mempengaruhi data pengukuran percobaan pada metode volume tetap (*fixed volume*), sehingga ketidakpastian yang ditunjukkan pada metode ini hampir semuanya menunjukkan *Error Gibbs* yang cukup besar.
6. Metode tekanan tetap (*Fixed Pressure*) merupakan metode yang lebih bagus digunakan karena memberikan ketidakpastian pengukuran adsorpsi yang lebih kecil.

## DAFTAR REFERENSI

- Aminian, K. *Coalbed Methane- Fundamental Concept* , Petroleum & Natural Gas Engineering Department West Virginia University. (2003).
- Bahl, B.S., Tuli, G.D., dan Bahl, A . *Essential of Physical Chemistry*, New Delhi, S. Chand and Company, Ltd. (1997).
- Deng-Feng Zhang, Yong-Jun Cui, Bing Liu, Song-Geng Li, Wen-Li Song, and Wei-Gang Lin. Supercritical Pure Methane and CO<sub>2</sub> Adsorption on Various Rank Coals of China : Experiments and Modeling. *Energy & Fuels* 25 (2011): 1891-1899.
- Dermawan, Panji. (2008) . *Evaluasi Persamaan BET dan Hasil Modifikasinya Dalam Merepresentasi Data Eksperimen Adsorpsi Gas Pada Tekanan Tinggi*. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- J.U. Keller, F. Dreisbach, H. Rave, R. Staudt and M. Tomalla. *Measurement of Gas Mixture Adsorption Equilibria of Natural Gas Compounds on Microporous Sorbents*. *Adsorption* 5 (1999): 199-214.
- Ding L. P., and Bhatia. S. K. Analysis of Multicomponent Adsorption Kinetics on Activated Carbon. *AIChE Journal* 49 (2003).
- Mc. Cabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriot, P. (1999). *Operasi Teknik Kimia*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Myers, A. L. dan P. A. Monson. *Adsorption in Porous Materials at High Pressure: Theory and Experiment*. (2002).
- Rasoolzadeh, M., Fatemi, S., Gholamhosseini, M., Moosaviyan, M.A.(2008). Study of Methane Storage and Adsorption Equilibria in Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Iran Journal of Chemical Engineering*, **Vol. 27, No. 3**.
- Ruthven, Douglas. M. (1984). *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. Canada, USA : John Wiley & Sons -Interscience Publication.
- Saghafi, Abouna. “Enhanced Coalbed Methane Recovery (ECBM) and CO<sub>2</sub> Storage in Australian Coals” (2005).



- Sayed Mohammad, James Fitzgerald, Robert L. Robinson, Jr., and Khaled A. M. Gasem. *Experimental Uncertainties in Volumetric Methods for Measuring Equilibrium Adsorption*. *Energy & Fuels* 23 (2009): 2810-2820.
- Sudibandriyo, Mahmud. *Adsorption of Methane, Nitrogen, Carbon Dioxide, and Their Binary Mixtures on Dry Activated Carbon at 318.2 K and Pressures up to 13.6 MPa*, Oklahoma State University. *Langmuir* 19 (2003): 5323-5331.
- Sudibandriyo, M. (2003). *A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure Adsorption on Carbon Adsorbents*. Oklahoma State University.
- Tim Kajian Batubara Nasional Kelompok Kajian Kebijakan Mineral dan Batubara Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara. 2006.
- Treybal, R. (1980). *Mass Transfer Operation*. Singapore: McGraw Hill.

## DAFTAR LAMPIRAN A

**Lampiran A.1.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=318 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			Basic Case (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	85.0	1.9769	7.06 %	9.79 %	12.66 %	15.59 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	9.63 %	12.45 %	15.33 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	9.48 %	12.23 %	15.06 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	9.37 %	12.08 %	14.86 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	9.28 %	11.94 %	14.67 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	9.20 %	11.80 %	14.47 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	9.15 %	11.69 %	14.31 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	9.13 %	11.61 %	14.18 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	9.13 %	11.55 %	14.06 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	9.16 %	11.51 %	13.97 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	9.22 %	11.50 %	13.90 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	9.32 %	11.91 %	14.58 %

**Lampiran A.1.2.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			Basic Case (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	80.1	1.6226	6.44 %	9.01 %	11.68 %	14.41 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	8.87 %	11.50 %	14.18 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	8.70 %	11.26 %	13.88 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	8.61 %	11.14 %	13.72 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	8.52 %	11.00 %	13.53 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	8.46 %	10.88 %	13.36 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	8.42 %	10.78 %	13.21 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	8.41 %	10.71 %	13.09 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	8.44 %	10.68 %	13.00 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	8.49 %	10.66 %	12.93 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	8.59 %	11.03 %	13.53 %

**Lampiran A.1.3.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	103.35 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000.9 Psia
Mass AC	54.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta P=1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	98.9	3.585	4.41 %	6.10 %	7.88 %	9.70 %
2.	206.9	4.863	4.27 %	5.88 %	7.57 %	9.31 %
3.	409.0	5.933	4.16 %	5.67 %	7.27 %	8.91 %
4.	610.9	6.371	4.15 %	5.58 %	7.11 %	8.69 %
5.	811.2	6.516	4.22 %	5.58 %	7.06 %	8.59 %
<b>Rata – rata</b>			4.24 %	5.76 %	7.38 %	9.04 %

**Lampiran A.1.4.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Illinois #6 Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	94.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	49.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta P=1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	7.36 %	9.53 %	11.74 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	7.23 %	9.36 %	11.53 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	7.05 %	9.12 %	11.22 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	6.90 %	8.88 %	10.92 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	6.80 %	8.70 %	10.66 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	6.81 %	8.62 %	10.50 %
7.	1206.1	1.4853	5.51 %	7.06 %	8.78 %	10.59 %
<b>Rata – rata</b>			5.18 %	7.03 %	9.00 %	11.03 %

**Lampiran A.1.5.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Beulah Zap Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	98.1 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	43.6 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case (ΔP=1)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>		
				ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	89.0	0.8186	6.19 %	8.62 %	11.16 %	13.75 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	8.46 %	10.95 %	13.50 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	8.25 %	10.66 %	13.12 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	8.07 %	10.39 %	12.78 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	7.95 %	10.19 %	12.49 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	7.96 %	10.09 %	12.29 %
7.	1203.7	1.7518	6.41 %	8.24 %	10.27 %	12.40 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	8.22 %	10.53 %	12.90 %

**Lampiran A.1.6.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Wyodak Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	96.43 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1005.5 Psia
Mass AC	45.4 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case (ΔP=1)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>		
				ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	100.5	0.7914	5.95 %	8.28 %	10.71 %	13.20 %
2.	210.5	1.0779	5.86 %	8.13 %	10.53 %	12.97 %
3.	403.7	1.3882	5.73 %	7.93 %	10.24 %	12.61 %
4.	606.0	1.6023	5.64 %	7.76 %	9.99 %	12.28 %
5.	812.1	1.7492	5.64 %	7.64 %	9.78 %	11.98 %
6.	1012.4	1.8204	5.77 %	7.65 %	9.69 %	11.81 %
7.	1209.8	1.8270	6.18 %	7.93 %	9.87 %	11.91 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	7.90 %	10.12 %	12.39 %

**Lampiran A.1.7.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Upper Freeport Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	77.49 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1007 Psia
Mass AC	72.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta P=1$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	5.35 %	6.92 %	8.53 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	5.27 %	6.82 %	8.40 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	5.17 %	6.68 %	8.22 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	5.08 %	6.55 %	8.05 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	5.03 %	6.45 %	7.90 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	5.03 %	6.39 %	7.79 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	5.15 %	6.44 %	7.78 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	5.15 %	6.61 %	8.10 %

**Lampiran A.1.8.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Pocahontas Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	87.9 cm <sup>3</sup>
Pump Press	998.9 Psia
Mass AC	55.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta P=1$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	6.62 %	8.57 %	10.56 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	6.55 %	8.47 %	10.44 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	6.42 %	8.30 %	10.21 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	6.30 %	8.12 %	9.98 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	6.23 %	7.98 %	9.78 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	6.23 %	7.90 %	9.63 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	6.43 %	8.01 %	9.67 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	6.40 %	8.19 %	10.40 %

**Lampiran A.2.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=318 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.06 %	7.06 %	7.07 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	6.96 %	6.96 %	6.97 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	6.86 %	6.87 %	6.87 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	6.80 %	6.81 %	6.81 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.77 %	6.77 %	6.78 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.75 %	6.76 %	6.76 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	6.77 %	6.78 %	6.78 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	6.82 %	6.83 %	6.83 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	6.90 %	6.91 %	6.91 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.02 %	7.02 %	7.03 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.15 %	7.16 %	7.16 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	6.90 %	6.90 %	6.91 %

**Lampiran A.2.2.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.45 %	6.45 %	6.46 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.35 %	6.36 %	6.36 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.25 %	6.26 %	6.26 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.21 %	6.21 %	6.22 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.18 %	6.18 %	6.18 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.17 %	6.18 %	6.18 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.21 %	6.21 %	6.22 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.28 %	6.28 %	6.29 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.37 %	6.38 %	6.38 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	6.50 %	6.51 %	6.51 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.30 %	6.30 %	6.31 %

**Lampiran A.2.3.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	103.35 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000.9 Psia
Mass AC	54.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	98.9	3.585	4.41 %	4.41 %	4.42 %	4.43 %
2.	206.9	4.863	4.27 %	4.28 %	4.28 %	4.29 %
3.	409.0	5.933	4.16 %	4.17 %	4.18 %	4.19 %
4.	610.9	6.371	4.15 %	4.15 %	4.16 %	4.17 %
5.	811.2	6.516	4.22 %	4.23 %	4.23 %	4.24 %
<b>Rata – rata</b>			4.24 %	4.25 %	4.25 %	4.26 %

**Lampiran A.2.4.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Illinois #6 Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	94.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	49.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	5.29 %	5.30 %	5.31 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	5.21 %	5.21 %	5.22 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	5.09 %	5.10 %	5.11 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	5.02 %	5.03 %	5.04 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	5.02 %	5.02 %	5.03 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	5.14 %	5.15 %	5.15 %
7.	1206.1	1.4853	5.51 %	5.51 %	5.52 %	5.53 %
<b>Rata – rata</b>			5.18 %	5.18 %	5.19 %	5.20 %

**Lampiran A.2.5.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Beulah Zap Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	98.1 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	43.6 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	89.0	0.8186	6.19 %	6.20 %	6.20 %	6.21 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	6.09 %	6.10 %	6.11 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	5.96 %	5.97 %	5.98 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	5.87 %	5.88 %	5.89 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	5.86 %	5.87 %	5.88 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	6.00 %	6.01 %	6.02 %
7.	1203.7	1.7518	6.41 %	6.41 %	6.42 %	6.43 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	6.06 %	6.06 %	6.07 %

**Lampiran A.2.6.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Wyodak Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	96.43 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1005.5 Psia
Mass AC	45.4 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	100.5	0.7914	5.95 %	5.96 %	5.97 %	5.98 %
2.	210.5	1.0779	5.86 %	5.86 %	5.87 %	5.88 %
3.	403.7	1.3882	5.73 %	5.73 %	5.74 %	5.75 %
4.	606.0	1.6023	5.64 %	5.65 %	5.66 %	5.67 %
5.	812.1	1.7492	5.64 %	5.64 %	5.65 %	5.66 %
6.	1012.4	1.8204	5.77 %	5.77 %	5.78 %	5.79 %
7.	1209.8	1.8270	6.18 %	6.18 %	6.19 %	6.20 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	5.83 %	5.84 %	5.85 %



**Lampiran A.2.7.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Upper Freeport Coal (T=328 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	77.49 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1007 Psia
Mass AC	72.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	3.85 %	3.86 %	3.86 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	3.80 %	3.80 %	3.81 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	3.74 %	3.74 %	3.75 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	3.70 %	3.71 %	3.71 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	3.70 %	3.71 %	3.73 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	3.78 %	3.78 %	3.79 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	3.99 %	3.99 %	4.00 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	3.79 %	3.80 %	3.81 %

**Lampiran A.2.8.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Pocahontas Coal (T=328 K) Terhadap  
Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	87.9 cm <sup>3</sup>
Pump Press	998.9 Psia
Mass AC	55.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	4.76 %	4.77 %	4.78 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	4.71 %	4.72 %	4.73 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	4.64 %	4.64 %	4.65 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	4.59 %	4.59	4.60 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	4.59 %	4.60 %	4.60 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	4.69 %	4.70 %	4.71 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	5.00 %	5.01 %	5.02 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	4.71 %	4.72 %	4.73 %

**Lampiran A.3.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=318 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.26 %	7.55 %	7.89 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	7.16 %	7.43 %	7.78 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	7.06 %	7.33 %	7.66 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	7.00 %	7.26 %	7.59 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.95 %	7.21 %	7.53 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.93 %	7.19 %	7.50 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	6.95 %	7.20 %	7.50 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	6.99 %	7.23 %	7.53 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.07 %	7.30 %	7.59 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.18 %	7.41 %	7.69 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.31 %	7.53 %	7.81 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	7.08%	7.33%	7.64%

**Lampiran A.3.2.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.60 %	6.82 %	7.09 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.51 %	6.72 %	6.98 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.40 %	6.61 %	6.86 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.35 %	6.56 %	6.81 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.32 %	6.51 %	6.76 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.31 %	6.51 %	6.74 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.34 %	6.53 %	6.76 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.41 %	6.59 %	6.82 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.50 %	6.68 %	6.90 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	6.63 %	6.80 %	7.02 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.44 %	6.63 %	6.87 %

**Lampiran A.3.3.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	103.35 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000.9 Psia
Mass AC	54.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	98.9	3.585	4.41 %	4.64 %	4.95 %	5.33 %
2.	206.9	4.863	4.27 %	4.49 %	4.79 %	5.14 %
3.	409.0	5.933	4.16 %	4.37 %	4.64 %	4.97 %
4.	610.9	6.371	4.15 %	4.34 %	4.60 %	4.91 %
5.	811.2	6.516	4.22 %	4.40 %	4.65 %	4.94 %
<b>Rata – rata</b>			4.24 %	4.45 %	4.73 %	5.06 %

**Lampiran A.3.4.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Illinois #6 Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	94.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	49.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	5.58 %	5.96 %	6.42 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	5.48 %	5.86 %	6.30 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	5.36 %	5.72 %	6.15 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	5.27 %	5.62 %	6.03 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	5.25 %	5.58 %	5.97 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	5.36 %	5.67 %	6.05 %
7.	1206.1	1.4853	5.50 %	5.75 %	6.08 %	6.47 %
<b>Rata – rata</b>			5.18 %	5.44 %	5.78 %	6.20 %

**Lampiran A.3.5.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Beulah Zap Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	98.1 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	43.6 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	89.0	0.8186	6.19 %	6.53 %	6.98 %	7.51 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	6.42 %	6.85 %	7.38 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	6.27 %	6.69 %	7.19 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	6.17 %	6.57 %	7.05 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	6.14 %	6.52 %	6.98 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	6.26 %	6.63 %	7.07 %
7.	1203.7	1.7518	6.40 %	6.70 %	7.08 %	7.55 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	6.36 %	6.76 %	7.25 %

**Lampiran A.3.6.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Wyodak Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	96.43 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1005.5 Psia
Mass AC	45.4 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	100.5	0.7914	5.95 %	6.29 %	6.72 %	7.25 %
2.	210.5	1.0779	5.86 %	6.18 %	6.61 %	7.12 %
3.	403.7	1.3882	5.73 %	6.04 %	6.45 %	6.95 %
4.	606.0	1.6023	5.64 %	5.94 %	6.34 %	6.81 %
5.	812.1	1.7492	5.64 %	5.92 %	6.29 %	6.74 %
6.	1012.4	1.8204	5.77 %	6.03 %	6.39 %	6.82 %
7.	1209.8	1.8270	6.17 %	6.46 %	6.84 %	7.30 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	6.12 %	6.52 %	7.00 %

**Lampiran A.3.7.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Upper Freeport Coal (T=328 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	77.49 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1007 Psia
Mass AC	72.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	4.07 %	4.35 %	4.69 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	4.01 %	4.29 %	4.63 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	3.94 %	4.21 %	4.54 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	3.90 %	4.16 %	4.47 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	3.89 %	4.14 %	4.44 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	3.95 %	4.19 %	4.48 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	4.17 %	4.42 %	4.72 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	3.99 %	4.25 %	4.57 %

**Lampiran A.3.8.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Pocahontas Coal (T=328 K) Terhadap  
Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	87.9 cm <sup>3</sup>
Pump Press	998.9 Psia
Mass AC	55.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	5.02 %	5.36 %	5.77 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	4.97 %	5.30 %	5.71 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	4.88 %	5.21 %	5.60 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	4.82 %	5.13 %	5.51 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	4.81 %	5.11 %	5.47 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	4.90 %	5.19 %	5.53 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	5.22 %	5.52 %	5.87 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	4.95 %	5.26 %	5.64 %

**Lampiran A.4.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=318 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.06 %	7.06 %	7.06 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	6.96 %	6.98 %	6.99 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	6.89 %	6.94 %	7.00 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	6.87 %	6.98 %	7.10 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	6.90 %	7.09 %	7.32 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	6.99 %	7.32 %	7.72 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	7.14 %	7.63 %	8.22 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	7.33 %	8.00 %	8.79 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.59 %	8.45 %	9.45 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.91 %	9.01 %	10.25 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	8.24 %	9.56 %	11.02 %
<b>Rata – rata</b>			6.89 %	7.26 %	7.73 %	8.27 %

**Lampiran A.4.2.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	6.45 %	6.45 %	6.45 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	6.36 %	6.37 %	6.39 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.29 %	6.34 %	6.42 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.28 %	6.39 %	6.52 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.32 %	6.53 %	6.79 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.43 %	6.77 %	7.19 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.61 %	7.13 %	7.75 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.84 %	7.56 %	8.39 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	7.11 %	8.03 %	9.08 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	7.44 %	8.58 %	9.86 %
<b>Rata – rata</b>			6.30 %	6.61%	7.02%	7.48%

**Lampiran A.4.3.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	103.35 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000.9 Psia
Mass AC	54.5 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	98.9	3.585	4.41 %	4.41 %	4.41 %	4.42 %
2.	206.9	4.863	4.27 %	4.28 %	4.30 %	4.33 %
3.	409.0	5.933	4.16 %	4.22 %	4.31 %	4.41 %
4.	610.9	6.371	4.15 %	4.30 %	4.51 %	4.76 %
5.	811.2	6.516	4.22 %	4.53 %	4.93 %	5.40 %
<b>Rata – rata</b>			4.24 %	4.35 %	4.49 %	4.66 %

**Lampiran A.4.4.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Illinois #6 Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	94.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	49.9 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{\text{Gibbs}}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	5.29 %	5.29 %	5.30 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	5.21 %	5.23 %	5.26 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	5.15 %	5.22 %	5.32 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	5.16 %	5.36 %	5.61 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	5.32 %	5.72 %	6.20 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	5.70 %	6.40 %	7.20 %
7.	1206.1	1.4853	5.51 %	6.44 %	7.55 %	8.78 %
<b>Rata – rata</b>			5.18 %	5.47 %	5.83 %	6.24 %

**Lampiran A.4.5.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Beulah Zap Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{void}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	98.1 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	43.6 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{Gibbs}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{Gibbs}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{void}=0,3$ )	$\Delta V_{void}=0,45$	$\Delta V_{void}=0,6$	$\Delta V_{void}=0,75$
1.	89.0	0.8186	6.19 %	6.19 %	6.20 %	6.20 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	6.10 %	6.12 %	6.15 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	6.02 %	6.10 %	6.22 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	6.03 %	6.26 %	6.54 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	6.20 %	6.65 %	7.19 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	6.63 %	7.42 %	8.33 %
7.	1203.7	1.7518	6.41 %	7.45 %	8.71 %	10.10 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	6.37 %	6.78 %	7.25 %

**Lampiran A.4.6.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Wyodak Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{void}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	96.43 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1005.5 Psia
Mass AC	45.4 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{Gibbs}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{Gibbs}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{void}=0,3$ )	$\Delta V_{void}=0,45$	$\Delta V_{void}=0,6$	$\Delta V_{void}=0,75$
1.	100.5	0.7914	5.95 %	5.96 %	5.96 %	5.97 %
2.	210.5	1.0779	5.86 %	5.87 %	5.89 %	5.92 %
3.	403.7	1.3882	5.73 %	5.79 %	5.88 %	5.98 %
4.	606.0	1.6023	5.64 %	5.81 %	6.02 %	6.29 %
5.	812.1	1.7492	5.64 %	5.97 %	6.42 %	6.94 %
6.	1012.4	1.8204	5.77 %	6.38 %	7.15 %	8.03 %
7.	1209.8	1.8270	6.18 %	7.20 %	8.42 %	9.76 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	6.14 %	6.53 %	6.99 %



**Lampiran A.4.7.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Upper Freeport Coal (T=328 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	77.49 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1007 Psia
Mass AC	72.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	3.85 %	3.85 %	3.86 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	3.81 %	3.82 %	3.84 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	3.77 %	3.83 %	3.90 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	3.80 %	3.94 %	4.10 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	3.90 %	4.17 %	4.49 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	4.14 %	4.60 %	5.13 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	4.61 %	5.35 %	6.18 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	3.98%	4.22%	4.50%

**Lampiran A.4.8.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Pocahontas Coal (T=328 K) Terhadap  
Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	87.9 cm <sup>3</sup>
Pump Press	998.9 Psia
Mass AC	55.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	4.76 %	4.77 %	4.78 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	4.73 %	4.75 %	4.78 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	4.69 %	4.76 %	4.85 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	4.72 %	4.90 %	5.13 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	4.85 %	5.20 %	5.62 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	5.18 %	5.80 %	6.52 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	5.82 %	6.81 %	7.91 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	4.97 %	5.29 %	5.66 %

**Lampiran A.5.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=318 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	85.0	1.9769	7.06 %	7.92 %	8.99 %	10.20 %
2.	192.9	2.8650	6.95 %	7.80 %	8.85 %	10.04 %
3.	361.4	3.8912	6.86 %	7.68 %	8.71 %	9.87 %
4.	514.7	3.8912	6.80 %	7.61 %	8.62 %	9.76 %
5.	689.7	4.1154	6.76 %	7.56 %	8.54 %	9.66 %
6.	906.2	4.2596	6.75 %	7.52 %	8.48 %	9.58 %
7.	1111.1	4.2944	6.77 %	7.52 %	8.46 %	9.54 %
8.	1303.6	4.2879	6.82 %	7.55 %	8.47 %	9.52 %
9.	1503.3	4.2497	6.90 %	7.61 %	8.51 %	9.54 %
10.	1718.6	4.1654	7.02 %	7.71 %	8.58 %	9.58 %
11.	1916.0	4.0792	7.15 %	7.82 %	8.67 %	9.66 %
	<b>Rata – rata</b>		6.89 %	7.66 %	8.62 %	9.72 %

**Lampiran A.5.2.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	100.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1047.3 Psia
Mass AC	47.1 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	80.1	1.6226	6.44 %	7.18 %	8.11 %	9.16 %
2.	179.0	2.3580	6.35 %	7.08 %	7.98 %	9.01 %
3.	370.1	3.1586	6.25 %	6.95 %	7.83 %	8.84 %
4.	505.2	3.1586	6.21 %	6.90 %	7.76 %	8.75 %
5.	696.3	3.2585	6.17 %	6.85 %	7.70 %	8.66 %
6.	896.0	3.2445	6.17 %	6.83 %	7.66 %	8.60 %
7.	1107.5	3.1457	6.21 %	6.85 %	7.65 %	8.58 %
8.	1309.7	2.9984	6.28 %	6.90 %	7.68 %	8.59 %
9.	1504.3	2.8109	6.37 %	6.98 %	7.74 %	8.63 %
10.	1705.7	2.5954	6.50 %	7.09 %	7.84 %	8.70 %
	<b>Rata – rata</b>		6.30 %	6.96 %	7.79 %	8.75 %

**Lampiran A.5.3.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Active Carbon (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	103.35 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000.9 Psia
Mass AC	54.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	98.9	3.585	4.41 %	4.81 %	5.33 %	5.93 %
2.	206.9	4.863	4.27 %	4.65 %	5.14 %	5.71 %
3.	409.0	5.933	4.16 %	4.52 %	4.98 %	5.51 %
4.	610.9	6.371	4.15 %	4.48 %	4.92 %	5.42 %
5.	811.2	6.516	4.22 %	4.54 %	4.95 %	5.44 %
<b>Rata – rata</b>			4.24 %	4.60 %	5.06 %	5.60 %

**Lampiran A.5.4.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Illinois #6 Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	94.3 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	49.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	99.8	0.5490	5.29 %	5.79 %	6.42 %	7.15 %
2.	211.2	0.8075	5.20 %	5.69 %	6.31 %	7.03 %
3.	398.9	1.0754	5.09 %	5.56 %	6.16 %	6.85 %
4.	604.1	1.2717	5.01 %	5.46 %	6.04 %	6.70 %
5.	806.7	1.4022	5.01 %	5.44 %	5.98 %	6.62 %
6.	1009.2	1.4805	5.13 %	5.53 %	6.05 %	6.66 %
7.	1206.1	1.4853	5.51 %	5.89 %	6.38 %	6.96 %
<b>Rata – rata</b>			5.18 %	5.62 %	6.19 %	6.85 %

**Lampiran A.5.5.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Beulah Zap Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	98.1 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1000 Psia
Mass AC	43.6 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	89.0	0.8186	6.19 %	6.78 %	7.52 %	8.37 %
2.	206.2	1.1082	6.09 %	6.66 %	7.38 %	8.22 %
3.	403.8	1.3972	5.95 %	6.50 %	7.20 %	8.01 %
4.	605.2	1.5907	5.87 %	6.39 %	7.06 %	7.84 %
5.	803.8	1.7059	5.86 %	6.36 %	7.00 %	7.74 %
6.	1009.8	1.7604	5.99 %	6.46 %	7.07 %	7.78 %
7.	1203.7	1.7518	6.41 %	6.86 %	7.44 %	8.13 %
<b>Rata – rata</b>			6.05 %	6.57 %	7.24 %	8.01 %

**Lampiran A.5.6.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Wyodak Coal (T=328 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	96.43 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1005.5 Psia
Mass AC	45.4 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	100.5	0.7914	5.95 %	6.52 %	7.24 %	8.06 %
2.	210.5	1.0779	5.86 %	6.41 %	7.11 %	7.92 %
3.	403.7	1.3882	5.73 %	6.26 %	6.94 %	7.72 %
4.	606.0	1.6023	5.64 %	6.15 %	6.80 %	7.56 %
5.	812.1	1.7492	5.64 %	6.12 %	6.74 %	7.46 %
6.	1012.4	1.8204	5.77 %	6.22 %	6.81 %	7.50 %
7.	1209.8	1.8270	6.18 %	6.61 %	7.17 %	7.83 %
<b>Rata – rata</b>			5.82 %	6.33 %	6.97 %	7.72 %

**Lampiran A.5.7.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Upper Freeport Coal (T=328 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	77.49 cm <sup>3</sup>
Pump Press	1007 Psia
Mass AC	72.5 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	102.7	0.4846	3.85 %	4.22 %	4.68 %	5.22 %
2.	221.1	0.6457	3.80 %	4.16 %	4.61 %	5.14 %
3.	417.1	0.7887	3.73 %	4.08 %	4.53 %	5.04 %
4.	617.2	0.8662	3.70 %	4.03 %	4.46 %	4.96 %
5.	812.6	0.9064	3.70 %	4.02 %	4.44 %	4.92 %
6.	1010.1	0.9191	3.77 %	4.08 %	4.47 %	4.93 %
7.	1208.6	0.9040	3.99 %	4.27 %	4.64 %	5.08 %
<b>Rata – rata</b>			3.79 %	4.12 %	4.55 %	5.04 %

**Lampiran A.5.8.** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Pocahontas Coal (T=328 K) Terhadap  
Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Pressure*

Vvoid	87.9 cm <sup>3</sup>
Pump Press	998.9 Psia
Mass AC	55.9 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	154.9	0.7147	4.76 %	5.21 %	5.78 %	6.44 %
2.	240.1	0.8313	4.71 %	5.15 %	5.71 %	6.36 %
3.	414.0	0.9786	4.63 %	5.06 %	5.61 %	6.24 %
4.	615.7	1.0674	4.58 %	4.99 %	5.52 %	6.13 %
5.	805.6	1.1104	4.59 %	4.98 %	5.48 %	6.07 %
6.	1010.8	1.1240	4.69 %	5.06 %	5.54 %	6.09 %
7.	1208.1	1.0891	5.00 %	5.35 %	5.80 %	6.34 %
<b>Rata – rata</b>			4.71 %	5.11 %	5.63 %	6.24 %

## DAFTAR LAMPIRAN B

**Lampiran B.1.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Barito (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	112.50	0.3524	15.70 %	21.30 %	27.27 %	33.42 %
2.	216.20	0.5085	19.62 %	24.59 %	30.21 %	36.17 %
3.	313.00	0.8072	24.64 %	28.99 %	34.16 %	39.83 %
4.	414.50	0.9585	30.29 %	34.16 %	38.95 %	44.35 %
5.	513.30	1.1703	36.39 %	39.95 %	44.46 %	49.66 %
<b>Rata – rata</b>			25.33 %	29.80 %	35.01 %	40.69 %

**Lampiran B.1.2** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Ombilin (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta P$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta P=1$ )	$\Delta P=1,5$	$\Delta P=2$	$\Delta P=2,5$
1.	112.30	0.2661	15.22 %	20.34 %	25.85 %	31.55 %
2.	213.90	0.4670	19.05 %	23.49 %	28.58 %	34.02 %
3.	315.10	0.6368	24.04 %	27.86 %	32.46 %	37.55 %
4.	414.50	0.8683	29.70 %	33.02 %	37.16 %	41.89 %
5.	514.60	1.0913	35.77 %	38.69 %	42.45 %	46.83 %
<b>Rata – rata</b>			24.76 %	28.68 %	33.30 %	38.37 %

**Lampiran B.1.3** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	169.90	0.5556	148.91 %	208.84 %	271.34 %	334.98 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	210.29 %	273.62 %	338.04 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	211.74 %	275.61 %	340.57 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	212.84 %	277.26 %	342.73 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	213.83 %	278.74 %	344.68 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	211.51 %	275.32 %	340.20 %

**Lampiran B.1.4** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 323 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	175.90	0.3407	120.69 %	170.30 %	221.84 %	274.22 %
2.	338.20	0.6853	121.51 %	172.05 %	224.45 %	277.64 %
3.	476.40	0.9667	122.22 %	173.26 %	226.13 %	279.79 %
4.	629.50	1.3465	122.75 %	174.29 %	227.62 %	281.73 %
<b>Rata – rata</b>			121.79 %	172.48 %	225.01 %	278.35 %

**Lampiran B.1.5** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 314 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			Basic Case (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	121.70	0.7673	229.05 %	321.89 %	418.59 %	516.99 %
2.	242.70	1.0888	230.36 %	325.05 %	423.42 %	523.40 %
3.	367.70	1.2644	231.92 %	327.93 %	427.54 %	528.72 %
4.	515.70	1.3607	233.23 %	330.58 %	431.41 %	533.76 %
5.	701.70	1.4863	234.78 %	333.67 %	435.94 %	539.66 %
6.	804.7	1.509	236.28 %	336.73 %	440.42 %	545.51 %
<b>Rata – rata</b>			232.60 %	329.31 %	429.55 %	531.34 %

**Lampiran B.1.6** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 316 K) Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			Basic Case (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	120.20	0.6975	224.86 %	316.50 %	411.85 %	508.83 %
2.	227.20	1.0346	226.18 %	319.58 %	416.53 %	515.03 %
3.	344.20	1.1940	227.68 %	322.35 %	420.48 %	520.13 %
4.	478.20	1.2861	228.95 %	324.88 %	424.18 %	524.94 %
5.	608.20	1.4118	230.31 %	327.58 %	428.11 %	530.06 %
6.	776.2	1.493	231.86 %	330.61 %	432.52 %	535.78 %
<b>Rata – rata</b>			228.31 %	323.58 %	422.28 %	522.46 %



**Lampiran B.1.7** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	139.6	0.1521	291.50 %	436.47 %	581.59 %	726.78 %
2.	254.1	0.2268	236.75 %	353.16 %	469.95 %	586.91 %
3.	374.4	0.2693	214.37 %	317.32 %	421.10 %	525.21 %
4.	497.5	0.3418	213.14 %	312.59 %	413.41 %	514.79 %
5.	590.9	0.3765	219.89 %	320.25 %	422.44 %	525.39 %
6.	661.9	0.4009	232.85 %	336.25 %	442.09 %	548.97 %
7.	730.8	0.4298	254.65 %	364.27 %	477.16 %	591.45 %
<b>Rata – rata</b>			237.59 %	348.62 %	461.11 %	574.22 %

**Lampiran B.1.8** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	139.6	0.1359	262.09 %	392.43 %	522.91 %	653.44 %
2.	234.1	0.1907	215.41 %	321.48 %	427.88 %	534.41 %
3.	342.4	0.2486	193.38 %	287.04 %	381.30 %	475.80 %
4.	447.0	0.2945	185.03 %	272.95 %	361.77 %	450.96 %
5.	556.5	0.3221	184.15 %	269.16 %	355.52 %	442.45 %
6.	639.9	0.3422	188.88 %	273.68 %	360.30 %	447.69 %
7.	714.6	0.3699	198.25 %	284.59 %	373.30 %	463.02 %
<b>Rata – rata</b>			203.88 %	300.19 %	397.57 %	495.40 %

**Lampiran B.1.9** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Barat (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	119.6	0.1599	255.23 %	382.29 %	509.46 %	636.67 %
2.	224.2	0.2790	204.97 %	306.09 %	407.48 %	508.98 %
3.	328.7	0.3197	184.97 %	274.93 %	365.38 %	456.04 %
4.	448.2	0.3405	177.94 %	262.17 %	347.32 %	432.84 %
5.	541.6	0.4245	179.66 %	262.90 %	347.40 %	432.43 %
6.	636.2	0.4428	190.57 %	275.92 %	363.14 %	451.15 %
7.	697.2	0.4625	200.91 %	289.07 %	379.52 %	470.95 %
<b>Rata – rata</b>			199.18 %	293.34 %	388.53 %	484.15 %

**Lampiran B.1.10** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Barat (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	139.6	0.1533	219.39 %	328.51 %	437.75 %	547.03 %
2.	252.8	0.2143	176.82 %	263.79 %	351.04 %	438.41 %
3.	347.4	0.2777	161.51 %	239.81 %	318.59 %	397.57 %
4.	466.9	0.3304	153.81 %	226.55 %	300.10 %	373.98 %
5.	559.5	0.3794	153.72 %	224.65 %	296.72 %	369.25 %
6.	633.2	0.4073	156.51 %	227.13 %	299.20 %	371.87 %
7.	717.2	0.4352	165.54 %	237.60 %	311.65 %	386.55 %
<b>Rata – rata</b>			169.61 %	249.72 %	330.72 %	412.09 %

**Lampiran B.1.11** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	139.6	0.2031	297.31 %	445.10 %	593.07 %	741.10 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	363.71 %	483.99 %	604.43 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	329.41 %	437.31 %	545.52 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	323.12 %	427.93 %	533.23 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	343.12 %	451.54 %	560.95 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	373.05 %	488.84 %	606.02 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	362.92 %	480.45 %	598.54 %

**Lampiran B.1.12** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Malang (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan ΔP dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	σ <sub>n</sub> <sup>Gibbs</sup>			
			<i>Basic Case</i> (ΔP=1)	ΔP=1,5	ΔP=2	ΔP=2,5
1.	129.6	0.1780	255.83 %	382.88 %	510.10 %	637.39 %
2.	234.1	0.2696	215.68 %	321.67 %	428.03 %	534.53 %
3.	357.3	0.3787	195.19 %	289.30 %	384.09 %	479.15 %
4.	413.3	0.3787	188.06 %	276.86 %	366.68 %	456.91 %
5.	546.6	0.4218	189.16 %	276.31 %	364.88 %	454.04 %
6.	636.2	0.4549	194.33 %	281.28 %	370.16 %	459.84 %
7.	740.9	0.4996	208.26 %	297.70 %	389.84 %	483.14 %
<b>Rata – rata</b>			206.65 %	303.71 %	401.97 %	500.71 %

**Lampiran B.2.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Barito (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	112.50	0.3524	15.70 %	16.68 %	17.97 %	19.49 %
2.	216.20	0.5085	19.62 %	22.28 %	25.54 %	29.20 %
3.	313.00	0.8072	24.64 %	29.15 %	34.48 %	40.31 %
4.	414.50	0.9585	30.29 %	36.61 %	43.96 %	51.90 %
5.	513.30	1.1703	36.39 %	44.55 %	53.94 %	64.02 %
<b>Rata – rata</b>			25.33 %	29.85 %	35.17 %	40.98 %

**Lampiran B.2.2** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Ombilin (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	112.30	0.2661	15.22 %	16.17 %	17.41 %	18.89 %
2.	213.90	0.4670	19.05 %	21.68 %	24.91 %	28.52 %
3.	315.10	0.6368	24.04 %	28.49 %	33.75 %	39.50 %
4.	414.50	0.8683	29.70 %	36.02 %	43.35 %	51.26 %
5.	514.60	1.0913	35.77 %	43.97 %	53.38 %	63.45 %
<b>Rata – rata</b>			24.76 %	29.27 %	34.56 %	40.32 %

**Lampiran B.2.3** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	148.91 %	148.91 %	148.91 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	149.44 %	149.44 %	149.44 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	150.32 %	150.32 %	150.32 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	150.83 %	150.83 %	150.83 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	151.28 %	151.28 %	151.28 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	150.16 %	150.16 %	150.16 %

**Lampiran B.2.4** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 323 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V=0,02$ )	$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	175.90	0.3407	120.69 %	120.69 %	120.69 %	120.69 %
2.	338.20	0.6853	121.51 %	121.51 %	121.51 %	121.51 %
3.	476.40	0.9667	122.22 %	122.22 %	122.22 %	122.22 %
4.	629.50	1.3465	122.75 %	122.75 %	122.75 %	122.75 %
<b>Rata – rata</b>			121.79 %	121.79 %	121.79 %	121.79 %

**Lampiran B.2.5** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 314 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	121.70	0.7673	229.05 %	229.05 %	229.05 %	229.05 %
2.	242.70	1.0888	230.36 %	230.36 %	230.36 %	230.36 %
3.	367.70	1.2644	231.92 %	231.92 %	231.92 %	231.92 %
4.	515.70	1.3607	233.23 %	233.23 %	233.23 %	233.23 %
5.	701.70	1.4863	234.78 %	234.78 %	234.78 %	234.78 %
6.	804.7	1.509	236.28 %	236.28 %	236.28 %	236.28 %
<b>Rata – rata</b>			232.60 %	232.60 %	232.60 %	232.60 %

**Lampiran B.2.6** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 316 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	120.20	0.6975	224.86 %	224.86 %	224.86 %	224.86 %
2.	227.20	1.0346	226.18 %	226.18 %	226.18 %	226.18 %
3.	344.20	1.1940	227.68 %	227.68 %	227.68 %	227.68 %
4.	478.20	1.2861	228.95 %	228.95 %	228.95 %	228.95 %
5.	608.20	1.4118	230.31 %	230.31 %	230.31 %	230.31 %
6.	776.2	1.493	231.86 %	231.86 %	231.86 %	231.86 %
<b>Rata – rata</b>			228.31 %	228.31 %	228.31 %	228.31 %

**Lampiran B.2.7** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	139.6	0.1521	291.50 %	291.50 %	291.50 %	291.50 %
2.	254.1	0.2268	236.75 %	236.75 %	236.75 %	236.75 %
3.	374.4	0.2693	214.37 %	214.37 %	214.37 %	214.37 %
4.	497.5	0.3418	213.14 %	213.14 %	213.14 %	213.14 %
5.	590.9	0.3765	219.89 %	219.89 %	219.89 %	219.89 %
6.	661.9	0.4009	232.85 %	232.85 %	232.85 %	232.85 %
7.	730.8	0.4298	254.65 %	254.65 %	254.65 %	254.65 %
<b>Rata – rata</b>			237.59 %	237.59 %	237.59 %	237.59 %

**Lampiran B.2.8** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{Gibbs}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	139.6	0.1359	262.09 %	262.09 %	262.09 %	262.09 %
2.	234.1	0.1907	215.41 %	215.41 %	215.41 %	215.41 %
3.	342.4	0.2486	193.38 %	193.38 %	193.38 %	193.38 %
4.	447.0	0.2945	185.03 %	185.03 %	185.03 %	185.03 %
5.	556.5	0.3221	184.15 %	184.15 %	184.15 %	184.15 %
6.	639.9	0.3422	188.88 %	188.88 %	188.88 %	188.88 %
7.	714.6	0.3699	198.25 %	198.25 %	198.25 %	198.25 %
<b>Rata – rata</b>			203.88 %	203.88 %	203.88 %	203.88 %

**Lampiran B.2.9** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Barat (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	119.6	0.1599	255.23 %	255.23 %	255.23 %	255.23 %
2.	224.2	0.2790	204.97 %	204.97 %	204.97 %	204.97 %
3.	328.7	0.3197	184.97 %	184.97 %	184.97 %	184.97 %
4.	448.2	0.3405	177.94 %	177.94 %	177.94 %	177.94 %
5.	541.6	0.4245	179.66 %	179.66 %	179.66 %	179.66 %
6.	636.2	0.4428	190.57 %	190.57 %	190.57 %	190.57 %
7.	697.2	0.4625	200.91 %	200.91 %	200.91 %	200.91 %
<b>Rata – rata</b>			199.18 %	199.18 %	199.18 %	199.18 %

**Lampiran B.2.10** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Barat (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	139.6	0.1533	219.39 %	219.39 %	219.39 %	219.39 %
2.	252.8	0.2143	176.82 %	176.82 %	176.82 %	176.82 %
3.	347.4	0.2777	161.51 %	161.51 %	161.51 %	161.51 %
4.	466.9	0.3304	153.81 %	153.81 %	153.81 %	153.81 %
5.	559.5	0.3794	153.72 %	153.72 %	153.72 %	153.72 %
6.	633.2	0.4073	156.51 %	156.51 %	156.51 %	156.51 %
7.	717.2	0.4352	165.54 %	165.54 %	165.54 %	165.54 %
<b>Rata – rata</b>			169.61 %	169.61 %	169.61 %	169.61 %



**Lampiran B.2.11** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	297.31 %	297.31 %	297.31 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	243.84 %	243.84 %	243.84 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	222.32 %	222.32 %	222.32 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	219.51 %	219.51 %	219.51 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	237.06 %	237.06 %	237.06 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	260.56 %	260.56 %	260.56 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	246.76 %	246.76 %	246.76 %

**Lampiran B.2.12** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Malang (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta V=0,02$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta V=0,03$	$\Delta V=0,04$	$\Delta V=0,05$
1.	129.6	0.1780	255.83 %	255.83 %	255.83 %	255.83 %
2.	234.1	0.2696	215.68 %	215.68 %	215.68 %	215.68 %
3.	357.3	0.3787	195.19 %	195.19 %	195.19 %	195.19 %
4.	413.3	0.3787	188.06 %	188.06 %	188.06 %	188.06 %
5.	546.6	0.4218	189.16 %	189.16 %	189.16 %	189.16 %
6.	636.2	0.4549	194.33 %	194.33 %	194.33 %	194.33 %
7.	740.9	0.4996	208.26 %	208.26 %	208.26 %	208.26 %
<b>Rata – rata</b>			206.65 %	206.65 %	206.65 %	206.65 %

**Lampiran B.3.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Barito (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	112.50	0.3524	15.70 %	15.82 %	16.00 %	16.22 %
2.	216.20	0.5085	19.62 %	19.72 %	19.86 %	20.04 %
3.	313.00	0.8072	24.64 %	24.73 %	24.84 %	24.98 %
4.	414.50	0.9585	30.29 %	30.35 %	30.44 %	30.56 %
5.	513.30	1.1703	36.39 %	36.45 %	36.52 %	36.61 %
<b>Rata – rata</b>			25.33 %	25.41 %	25.53 %	25.68 %

**Lampiran B.3.2** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Ombilin (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta T=0,1$ )	$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	112.30	0.2661	15.22 %	15.38 %	15.61 %	15.89 %
2.	213.90	0.4670	19.05 %	19.18 %	19.36 %	19.60 %
3.	315.10	0.6368	24.04 %	24.15 %	24.30 %	24.49 %
4.	414.50	0.8683	29.70 %	29.79 %	29.92 %	30.08 %
5.	514.60	1.0913	35.77 %	35.84 %	35.95 %	36.08 %
<b>Rata – rata</b>			24.76 %	24.87 %	25.03 %	25.23 %

**Lampiran B.3.3** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	151.24 %	154.44 %	158.46 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	151.67 %	154.75 %	158.61 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	153.12 %	156.96 %	161.76 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	153.84 %	157.96 %	163.10 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	154.51 %	158.92 %	164.41 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	152.88 %	156.60 %	161.27 %

**Lampiran B.3.4** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 323 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	175.90	0.3407	120.69 %	122.29 %	124.49 %	127.27 %
2.	338.20	0.6853	121.51 %	123.03 %	125.13 %	127.79 %
3.	476.40	0.9667	122.22 %	124.04 %	126.53 %	129.67 %
4.	629.50	1.3465	122.75 %	124.68 %	127.34 %	130.68 %
<b>Rata – rata</b>			121.79 %	123.51 %	125.87 %	128.85 %

**Lampiran B.3.5** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 314 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	121.70	0.7673	229.05 %	232.25 %	236.66 %	242.22 %
2.	242.70	1.0888	230.36 %	233.42 %	237.63 %	242.94 %
3.	367.70	1.2644	231.92 %	235.45 %	240.31 %	246.41 %
4.	515.70	1.3607	233.23 %	237.00 %	242.17 %	248.67 %
5.	701.70	1.4863	234.78 %	238.83 %	244.39 %	251.35 %
6.	804.7	1.509	236.28 %	240.40 %	246.05 %	253.13 %
<b>Rata – rata</b>			232.60 %	236.22 %	241.20 %	247.45 %

**Lampiran B.3.6** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 316 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	120.20	0.6975	224.86 %	227.91 %	232.11 %	237.41 %
2.	227.20	1.0346	226.18 %	229.08 %	233.07 %	238.12 %
3.	344.20	1.1940	227.68 %	230.99 %	235.54 %	241.27 %
4.	478.20	1.2861	228.95 %	232.45 %	237.26 %	243.31 %
5.	608.20	1.4118	230.31 %	233.97 %	239.00 %	245.32 %
6.	776.2	1.493	231.86 %	235.73 %	241.05 %	247.72 %
<b>Rata – rata</b>			228.31 %	231.69 %	236.34 %	242.19 %

**Lampiran B.3.7** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	139.6	0.1521	291.50 %	291.66 %	291.89 %	292.19 %
2.	254.1	0.2268	236.75 %	237.24 %	237.93 %	238.81 %
3.	374.4	0.2693	214.37 %	215.64 %	217.39 %	219.64 %
4.	497.5	0.3418	213.14 %	215.75 %	219.35 %	223.90 %
5.	590.9	0.3765	219.89 %	224.09 %	229.85 %	237.04 %
6.	661.9	0.4009	232.85 %	239.37 %	248.22 %	259.15 %
7.	730.8	0.4298	254.65 %	264.85 %	278.50 %	295.13 %
<b>Rata – rata</b>			237.59 %	241.23 %	246.16 %	252.27 %

**Lampiran B.3.8** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	139.6	0.1359	262.09 %	262.23 %	262.42 %	262.67 %
2.	234.1	0.1907	215.41 %	215.77 %	216.27 %	216.91 %
3.	342.4	0.2486	193.38 %	194.15 %	195.23 %	196.61 %
4.	447.0	0.2945	185.03 %	186.39 %	188.29 %	190.70 %
5.	556.5	0.3221	184.15 %	186.62 %	190.02 %	194.31 %
6.	639.9	0.3422	188.88 %	192.69 %	197.92 %	204.43 %
7.	714.6	0.3699	198.25 %	203.94 %	211.65 %	221.18 %
<b>Rata – rata</b>			203.88 %	205.97 %	208.83 %	212.40 %

**Lampiran B.3.9** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Barat (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	119.6	0.1599	255.23 %	255.35 %	255.51 %	255.72 %
2.	224.2	0.2790	204.97 %	205.29 %	205.75 %	206.34 %
3.	328.7	0.3197	184.97 %	185.68 %	186.67 %	187.94 %
4.	448.2	0.3405	177.94 %	179.53 %	181.75 %	184.55 %
5.	541.6	0.4245	179.66 %	182.30 %	185.93 %	190.50 %
6.	636.2	0.4428	190.57 %	195.28 %	201.71 %	209.67 %
7.	697.2	0.4625	200.91 %	207.55 %	216.50 %	227.49 %
<b>Rata – rata</b>			199.18 %	201.57 %	204.83 %	208.89 %

**Lampiran B.3.10** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Barat (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	139.6	0.1533	219.39 %	219.51 %	219.67 %	219.87 %
2.	252.8	0.2143	176.82 %	177.15 %	177.61 %	178.20 %
3.	347.4	0.2777	161.51 %	162.15 %	163.04 %	164.17 %
4.	466.9	0.3304	153.81 %	155.08 %	156.85 %	159.09 %
5.	559.5	0.3794	153.72 %	155.81 %	158.68 %	162.30 %
6.	633.2	0.4073	156.51 %	159.51 %	163.63 %	168.78 %
7.	717.2	0.4352	165.54 %	170.33 %	176.83 %	184.84 %
<b>Rata – rata</b>			169.61 %	171.36 %	173.76 %	176.75 %

**Lampiran B.3.11** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	297.49 %	297.74 %	298.07 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	244.35 %	245.07 %	246.00 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	223.57 %	225.31 %	227.53 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	221.67 %	224.67 %	228.46 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	242.87 %	250.79 %	260.61 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	270.84 %	284.62 %	301.40 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	250.13 %	254.70 %	260.34 %

**Lampiran B.3.12** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Malang (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta T$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	Basic Case ( $\Delta T=0,1$ )	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$		
				$\Delta T=0,15$	$\Delta T=0,2$	$\Delta T=0,25$
1.	129.6	0.1780	255.83 %	256.00 %	256.24 %	256.54 %
2.	234.1	0.2696	215.68 %	216.09 %	216.66 %	217.39 %
3.	357.3	0.3787	195.19 %	196.10 %	197.36 %	198.98 %
4.	413.3	0.3787	188.06 %	189.50 %	191.51 %	194.05 %
5.	546.6	0.4218	189.16 %	191.71 %	195.21 %	199.62 %
6.	636.2	0.4549	194.33 %	198.33 %	203.81 %	210.64 %
7.	740.9	0.4996	208.26 %	215.09 %	224.30 %	235.62 %
<b>Rata – rata</b>			206.65 %	208.97 %	212.15 %	216.12 %

**Lampiran B.4.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Barito (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{void}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{Gibbs}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{Gibbs}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{void}=0,3$ )	$\Delta V_{void}=0,45$	$\Delta V_{void}=0,6$	$\Delta V_{void}=0,75$
1.	112.50	0.3524	15.70 %	16.59 %	17.77 %	19.19 %
2.	216.20	0.5085	19.62 %	22.22 %	25.42 %	29.01 %
3.	313.00	0.8072	24.64 %	28.99 %	34.17 %	39.84 %
4.	414.50	0.9585	30.29 %	36.54 %	43.81 %	51.69 %
5.	513.30	1.1703	36.39 %	44.49 %	53.82 %	63.85 %
<b>Rata – rata</b>			25.33 %	29.77 %	35.00 %	40.71 %

**Lampiran B.4.2** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Ombilin (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{void}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	$n_{Gibbs}$ (mmol/g)	$\sigma_n^{Gibbs}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta V_{void}=0,3$ )	$\Delta V_{void}=0,45$	$\Delta V_{void}=0,6$	$\Delta V_{void}=0,75$
1.	112.30	0.2661	15.22 %	16.15 %	17.36 %	18.80 %
2.	213.90	0.4670	19.05 %	21.66 %	24.86 %	28.45 %
3.	315.10	0.6368	24.04 %	28.54 %	33.85 %	39.64 %
4.	414.50	0.8683	29.70 %	36.05 %	43.41 %	51.35 %
5.	514.60	1.0913	35.77 %	43.99 %	53.41 %	63.50 %
<b>Rata – rata</b>			24.76 %	29.28 %	34.58 %	40.35 %



**Lampiran B.4.3** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	148.91 %	148.92 %	148.92 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	149.44 %	149.44 %	149.44 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	150.32 %	150.32 %	150.32 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	150.83 %	150.83 %	150.84 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	151.28 %	151.29 %	151.29 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	150.16 %	150.16 %	150.16 %

**Lampiran B.4.4** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 323 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	175.90	0.3407	120.69 %	120.69 %	120.69 %	120.69 %
2.	338.20	0.6853	121.51 %	121.51 %	121.51 %	121.51 %
3.	476.40	0.9667	122.22 %	122.22 %	122.23 %	122.23 %
4.	629.50	1.3465	122.75 %	122.75 %	122.75 %	122.76 %
<b>Rata – rata</b>			121.79 %	121.79 %	121.80 %	121.80 %

**Lampiran B.4.5** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 314 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	121.70	0.7673	229.05 %	229.05 %	229.05 %	229.05 %
2.	242.70	1.0888	230.36 %	230.36 %	230.36 %	230.37 %
3.	367.70	1.2644	231.92 %	231.92 %	231.92 %	231.93 %
4.	515.70	1.3607	233.23 %	233.24 %	233.24 %	233.24 %
5.	701.70	1.4863	234.78 %	234.78 %	234.79 %	234.79 %
6.	804.7	1.509	236.28 %	236.29 %	236.30 %	236.31 %
<b>Rata – rata</b>			232.60 %	232.61 %	232.61 %	232.61 %

**Lampiran B.4.6** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 316 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	120.20	0.6975	224.86 %	224.86 %	224.86 %	224.86 %
2.	227.20	1.0346	226.18 %	226.18 %	226.18 %	226.18 %
3.	344.20	1.1940	227.68 %	227.68 %	227.68 %	227.68 %
4.	478.20	1.2861	228.95 %	228.96 %	228.96 %	228.96 %
5.	608.20	1.4118	230.31 %	230.31 %	230.32 %	230.32 %
6.	776.2	1.493	231.86 %	231.86 %	231.87 %	231.88 %
<b>Rata – rata</b>			228.31 %	228.31 %	228.31 %	228.31 %

**Lampiran B.4.7** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	139.6	0.1521	291.50 %	291.50 %	291.50 %	291.50 %
2.	254.1	0.2268	236.75 %	236.75 %	236.75 %	236.75 %
3.	374.4	0.2693	214.37 %	214.37 %	214.37 %	214.37 %
4.	497.5	0.3418	213.14 %	213.14 %	213.14 %	213.14 %
5.	590.9	0.3765	219.89 %	219.89 %	219.90 %	219.90 %
6.	661.9	0.4009	232.85 %	232.85 %	232.85 %	232.86 %
7.	730.8	0.4298	254.65 %	254.65 %	254.65 %	254.66 %
<b>Rata – rata</b>			237.59 %	237.59 %	237.59 %	237.60 %

**Lampiran B.4.8** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	139.6	0.1359	262.09 %	262.09 %	262.09 %	262.09 %
2.	234.1	0.1907	215.41 %	215.41 %	215.41 %	215.41 %
3.	342.4	0.2486	193.38 %	193.38 %	193.38 %	193.38 %
4.	447.0	0.2945	185.03 %	185.03 %	185.03 %	185.03 %
5.	556.5	0.3221	184.15 %	184.16 %	184.16 %	184.16 %
6.	639.9	0.3422	188.88 %	188.88 %	188.88 %	188.88 %
7.	714.6	0.3699	198.25 %	198.25 %	198.25 %	198.26 %
<b>Rata – rata</b>			203.88 %	203.88 %	203.89 %	203.89 %

**Lampiran B.4.9** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Barat (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	119.6	0.1599	255.23 %	255.23 %	255.23 %	255.23 %
2.	224.2	0.2790	204.97 %	204.97 %	204.97 %	204.97 %
3.	328.7	0.3197	184.97 %	184.97 %	184.97 %	184.97 %
4.	448.2	0.3405	177.94 %	177.94 %	177.94 %	177.94 %
5.	541.6	0.4245	179.66 %	179.66 %	179.66 %	179.67 %
6.	636.2	0.4428	190.57 %	190.57 %	190.57 %	190.57 %
7.	697.2	0.4625	200.91 %	200.91 %	200.91 %	200.92 %
<b>Rata – rata</b>			199.18 %	199.18 %	199.18 %	199.18 %

**Lampiran B.4.10** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Barat (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	139.6	0.1533	219.39 %	219.39 %	219.39 %	219.39 %
2.	252.8	0.2143	176.82 %	176.82 %	176.82 %	176.82 %
3.	347.4	0.2777	161.51 %	161.51 %	161.51 %	161.51 %
4.	466.9	0.3304	153.81 %	153.81 %	153.81 %	153.81 %
5.	559.5	0.3794	153.72 %	153.73 %	153.73 %	153.73 %
6.	633.2	0.4073	156.51 %	156.51 %	156.51 %	156.51 %
7.	717.2	0.4352	165.54 %	165.54 %	165.55 %	165.55 %
<b>Rata – rata</b>			169.61 %	169.62 %	169.62 %	169.62 %

**Lampiran B.4.11** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	297.31 %	297.31 %	297.31 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	243.84 %	243.84 %	243.84 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	222.32 %	222.32 %	222.32 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	219.51 %	219.51 %	219.51 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	237.06 %	237.06 %	237.06 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	260.56 %	260.56 %	260.57 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	246.77 %	246.77 %	246.77 %

**Lampiran B.4.12** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Malang (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta V_{\text{void}}$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			Basic Case ( $\Delta V_{\text{void}}=0,3$ )	$\Delta V_{\text{void}}=0,45$	$\Delta V_{\text{void}}=0,6$	$\Delta V_{\text{void}}=0,75$
1.	129.6	0.1780	255.83 %	255.83 %	255.83 %	255.83 %
2.	234.1	0.2696	215.68 %	215.68 %	215.68 %	215.68 %
3.	357.3	0.3787	195.19 %	195.19 %	195.19 %	195.19 %
4.	413.3	0.3787	188.06 %	188.06 %	188.06 %	188.06 %
5.	546.6	0.4218	189.16 %	189.17 %	189.17 %	189.17 %
6.	636.2	0.4549	194.33 %	194.33 %	194.33 %	194.34 %
7.	740.9	0.4996	208.26 %	208.26 %	208.26 %	208.27 %
<b>Rata – rata</b>			206.65 %	206.65 %	206.65 %	206.65 %

**Lampiran B.5.1** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Barito (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	112.50	0.3524	15.70 %	16.69 %	17.98 %	19.52 %
2.	216.20	0.5085	19.62 %	20.34 %	21.32 %	22.51 %
3.	313.00	0.8072	24.64 %	25.17 %	25.89 %	26.78 %
4.	414.50	0.9585	30.29 %	30.67 %	31.20 %	31.87 %
5.	513.30	1.1703	36.39 %	36.68 %	37.07 %	37.58 %
<b>Rata – rata</b>			25.33 %	25.91 %	26.69 %	27.65 %

**Lampiran B.5.2** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Batubara Ombilin (T= 298 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	13.54 cm <sup>3</sup>
V dozing	23 cm <sup>3</sup>
Mass AC	1,99 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	112.30	0.2661	15.22 %	16.54 %	18.22 %	20.18 %
2.	213.90	0.4670	19.05 %	20.03 %	21.33 %	22.90 %
3.	315.10	0.6368	24.04 %	24.77 %	25.76 %	26.98 %
4.	414.50	0.8683	29.70 %	30.25 %	31.00 %	31.93 %
5.	514.60	1.0913	35.77 %	36.18 %	36.75 %	37.47 %
<b>Rata – rata</b>			24.76 %	25.55 %	26.61 %	27.89 %

**Lampiran B.5.3** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	169.90	0.5556	148.91 %	166.61 %	188.61 %	213.60 %
2.	324.10	1.0339	149.44 %	166.39 %	187.56 %	211.69 %
3.	483.40	1.5239	150.32 %	166.58 %	187.00 %	210.35 %
4.	620.50	1.9616	150.83 %	166.49 %	186.20 %	208.84 %
5.	764.70	2.4894	151.28 %	166.34 %	185.38 %	207.30 %
<b>Rata – rata</b>			150.16 %	166.48 %	186.95 %	210.36 %

**Lampiran B.5.4** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Zeolit Alam Malang (T= 323 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	15.07 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	81.32 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	175.90	0.3407	120.69 %	133.98 %	150.63 %	169.65 %
2.	338.20	0.6853	121.51 %	134.19 %	150.16 %	168.48 %
3.	476.40	0.9667	122.22 %	134.47 %	149.95 %	167.76 %
4.	629.50	1.3465	122.75 %	134.58 %	149.59 %	166.91 %
<b>Rata – rata</b>			121.79 %	134.31 %	150.08 %	168.20 %

**Lampiran B.5.5** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 314 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	121.70	0.7673	229.05 %	255.77 %	289.06 %	326.92 %
2.	242.70	1.0888	230.36 %	255.72 %	287.49 %	323.79 %
3.	367.70	1.2644	231.92 %	256.16 %	286.68 %	321.68 %
4.	515.70	1.3607	233.23 %	256.40 %	285.69 %	319.43 %
5.	701.70	1.4863	234.78 %	256.68 %	284.52 %	316.74 %
6.	804.7	1.509	236.28 %	257.09 %	283.66 %	314.54 %
<b>Rata – rata</b>			232.60 %	256.30 %	286.18 %	320.52 %

**Lampiran B.5.6** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH<sub>4</sub> pada Karbon Aktif (T= 316 K) Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	111.27 cm <sup>3</sup>
V dozing	507.34 cm <sup>3</sup>
Mass AC	48.56 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	120.20	0.6975	224.86 %	250.56 %	282.63 %	319.17 %
2.	227.20	1.0346	226.18 %	250.61 %	281.27 %	316.36 %
3.	344.20	1.1940	227.68 %	251.09 %	280.60 %	314.50 %
4.	478.20	1.2861	228.95 %	251.40 %	279.81 %	312.56 %
5.	608.20	1.4118	230.31 %	251.75 %	279.01 %	310.56 %
6.	776.2	1.493	231.86 %	252.17 %	278.13 %	308.31 %
<b>Rata – rata</b>			228.31 %	251.26 %	280.24 %	313.58 %



**Lampiran B.5.7** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	139.6	0.1521	291.50 %	292.49 %	293.89 %	295.67 %
2.	254.1	0.2268	236.75 %	239.18 %	242.54 %	246.79 %
3.	374.4	0.2693	214.37 %	219.36 %	226.16 %	234.61 %
4.	497.5	0.3418	213.14 %	220.93 %	231.40 %	244.21 %
5.	590.9	0.3765	219.89 %	229.60 %	242.55 %	258.24 %
6.	661.9	0.4009	232.85 %	245.08 %	261.25 %	280.67 %
7.	730.8	0.4298	254.65 %	269.73 %	289.53 %	313.15 %
<b>Rata – rata</b>			237.59 %	245.20 %	255.33 %	267.62 %

**Lampiran B.5.8** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Lampung (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	94.69 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	87.62 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	139.6	0.1359	262.09 %	263.00 %	264.28 %	265.91 %
2.	234.1	0.1907	215.41 %	217.47 %	220.34 %	223.96 %
3.	342.4	0.2486	193.38 %	197.09 %	202.18 %	208.53 %
4.	447.0	0.2945	185.03 %	190.40 %	197.67 %	206.65 %
5.	556.5	0.3221	184.15 %	191.97 %	202.41 %	215.08 %
6.	639.9	0.3422	188.88 %	198.95 %	212.26 %	228.23 %
7.	714.6	0.3699	198.25 %	210.83 %	227.29 %	246.83 %
<b>Rata – rata</b>			203.88 %	209.96 %	218.06 %	227.89 %

**Lampiran B.5.9** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Barat (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	119.6	0.1599	255.23 %	255.96 %	256.96 %	258.26 %
2.	224.2	0.2790	204.97 %	206.67 %	209.04 %	212.04 %
3.	328.7	0.3197	184.97 %	188.01 %	192.19 %	197.42 %
4.	448.2	0.3405	177.94 %	183.30 %	190.56 %	199.50 %
5.	541.6	0.4245	179.66 %	186.64 %	195.98 %	207.38 %
6.	636.2	0.4428	190.57 %	200.19 %	212.92 %	228.26 %
7.	697.2	0.4625	200.91 %	211.92 %	226.44 %	243.83 %
<b>Rata – rata</b>			199.18 %	204.67 %	212.01 %	220.96 %

**Lampiran B.5.10** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Barat (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	79.22 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	105 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	139.6	0.1533	219.39 %	220.14 %	221.19 %	222.53 %
2.	252.8	0.2143	176.82 %	178.64 %	181.15 %	184.33 %
3.	347.4	0.2777	161.51 %	164.52 %	168.63 %	173.78 %
4.	466.9	0.3304	153.81 %	158.64 %	165.16 %	173.18 %
5.	559.5	0.3794	153.72 %	160.27 %	169.02 %	179.64 %
6.	633.2	0.4073	156.51 %	164.52 %	175.12 %	187.88 %
7.	717.2	0.4352	165.54 %	176.06 %	189.81 %	206.14 %
<b>Rata – rata</b>			169.61 %	174.68 %	181.44 %	189.64 %

**Lampiran B.5.11** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Alam Jawa Malang (T= 303 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	139.6	0.2031	297.31 %	298.42 %	299.96 %	301.93 %
2.	256.5	0.3147	243.84 %	246.37 %	249.87 %	254.30 %
3.	384.7	0.4043	222.32 %	227.07 %	233.56 %	241.65 %
4.	470.6	0.4523	219.51 %	226.35 %	235.59 %	246.96 %
5.	631.2	0.5116	237.06 %	249.22 %	265.31 %	284.66 %
6.	730.9	0.5354	260.56 %	275.69 %	295.58 %	319.33 %
<b>Rata – rata</b>			246.76 %	253.85 %	263.31 %	274.81 %

**Lampiran B.5.12** Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO<sub>2</sub> pada Zeolit Jawa Malang (T= 313 K)  
Terhadap Kenaikan  $\Delta Z$  dari Percobaan *Fixed Volume*

Vvoid	47.20 cm <sup>3</sup>
V dozing	486.73 cm <sup>3</sup>
Mass AC	85 g

No.	Tekanan (Psia)	n <sub>Gibbs</sub> (mmol/g)	$\sigma_n^{\text{Gibbs}}$			
			<i>Basic Case</i> ( $\Delta Z=0,0005$ )	$\Delta Z=0,00075$	$\Delta Z=0,001$	$\Delta Z=0,00125$
1.	129.6	0.1780	255.83 %	256.97 %	258.55 %	260.58 %
2.	234.1	0.2696	215.68 %	218.03 %	221.27 %	225.38 %
3.	357.3	0.3787	195.19 %	199.44 %	205.24 %	212.46 %
4.	413.3	0.3787	188.06 %	194.28 %	202.68 %	212.98 %
5.	546.6	0.4218	189.16 %	197.43 %	208.46 %	221.84 %
6.	636.2	0.4549	194.33 %	205.03 %	219.15 %	236.05 %
7.	740.9	0.4996	208.26 %	222.35 %	240.70 %	262.42 %
<b>Rata – rata</b>			206.65 %	213.36 %	222.29 %	233.10 %