



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI MODEL DUBININ-RADUSHKEVICH SERTA
MODIFIKASINYA DALAM MEREPRESENTASIKAN DATA
ADSORPSI GAS PADA TEKANAN TINGGI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
di Departemen Teknik Kimia FT UI**

**ASEP RUHIAT
0406160031**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Asep Ruhiat

NPM : 0405260031

Tanda Tangan :



Tanggal : 1 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Asep Ruhiat
NPM : 0405260031
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Judul Skripsi : Evaluasi Model *Dubinini-Radushkevich* Serta
Modifikasinya Dalam Merepresentasikan Data
Adsorpsi Gas Pada Tekanan Tinggi

Dibuat untuk melengkapi sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

Menyetujui,

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc. PhD

Penguji : Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA

Penguji : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng

Ditetapkan di : Kampus Baru UI, Depok

Tanggal : 5 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim,

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji dan syukur saya haturkan Kehadirat Allah SWT, hanya karena berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini merupakan salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. terselesaikannya makalah ini merupakan dorongan dari berbagai pihak, dan tidak mungkin diselesaikan tanpa dorongannya tersebut. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Sherly, istri saya tercinta yang selalu memberikan dorongan dan dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
2. Nevan, anak papah yang selalu sabar dan pengertian untuk tidak mengganggu penyusunan penelitian ini.
3. Bapak Ir. Yuliusman, selaku koordinator tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc.PhD, selaku pembimbing yang dengan kesabarannya telah memberikan nasihat dan bimbingannya didalam penyusunan makalah ini.
5. Bapak Johanes Gunady PT. Connell Bersaudara Chemindo yang selalu memberikan keleluasaan waktu untuk pelaksanaan penelitian ini.
6. Kedua orang tua, mertua, serta keluarga yang tercinta dan tersayang yang tidak henti-hentinya untuk selalu mendoakan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
7. Teman-teman di kampus atas segala dukungannya.

Semoga makalah ini dapat bermanfaat bagi semua pihak demi kemajuan dan pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 1 Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Asep Ruhiat
NPM : 0405260031
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik UI
Jenis Karya : Skripsi

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

Evaluasi Model *Dubin-Raduschkevich* Serta Modifikasinya dalam Merepresentasikan Data Adsorpsi Gas pada Tekanan Tinggi

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 mempublikasikan 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 : 1 Juli 2010


(Asep Ruhiat)

ABSTRAK

Nama : Asep Ruhiat
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Evaluasi Model *Dubinin-Radushkevich* Serta Modifikasinya
Dalam Merepresentasikan Data Adsorpsi Gas Pada Tekanan
Tinggi.

Adsorpsi merupakan salah satu proses pemisahan yang biasa dilakukan dibidang industri gas dan petrokimia. Penelitian mengenai adsorpsi banyak dilakukan terutama mengenai adsorben dan peningkatan siklusnya. Penelitian juga dilakukan untuk pengembangan model-model mengenai adsorpsi. Banyak model adsorpsi yang telah dikembangkan diantaranya Langmuir, BET, *Dubinin-Radushkevich* (DR), dll. Setiap model yang digunakan dalam merepresentasikan data adsorpsi memiliki tingkat keakuratan yang berbeda. Model Langmuir dan BET memiliki tingkat akurasi yang tidak terlalu baik terutama dalam merepresentasikan data adsorpsi pada tekanan tinggi. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan modifikasi persamaan Langmuir dan BET dengan penambahan koreksi terhadap densitas gas teradsorpsi, tetapi modifikasi persamaan tersebut hanya merubah tingkat akurasi yang tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan digunakan persamaan DR untuk merepresentasikan data adsorpsi dari literatur. Persamaan DR ini telah terbukti dapat merepresentasikan data adsorpsi dengan baik. Selain itu akan dilakukan modifikasi pada persamaan DR dengan harapan dapat memperbaiki tingkat akurasi dibandingkan dengan persamaan DR secara aslinya. Modifikasi model DR dilakukan dengan memasukan pengaruh densitas adsorpsi sehingga memiliki tingkat akurasi yang lebih baik. Tingkat akurasi yang dihasilkan dapat ditunjukkan dengan suatu parameter yaitu *Average Absolute Percent Deviation* (AAPD).

Hasil pengolahan data dengan menggunakan model DR pada data adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben memiliki nilai AAPD sebesar 1,75% sedangkan untuk model hasil modifikasinya sebesar 1,12%. Pada adsorben lainnya yaitu zeolit AAPD yang dihasilkan model DR adalah sebesar 2,18% sedangkan model hasil modifikasinya adalah 1,98%. Sedangkan adsorpsi dengan jenis adsorben batubara nilai AAPD yang dihasilkan model DR adalah 1,37% dan model hasil modifikasinya adalah 0,98%. Secara keseluruhan nilai AAPD yang dihasilkan oleh model DR dan modifikasinya lebih baik dari model Langmuir dan BET yang ditunjukkan oleh nilai AAPD yang dihasilkan oleh model tersebut lebih rendah daripada kedua model lainnya.

Kata Kunci : Adsorpsi, Modifikasi, Model DR, Langmuir, BET, AAPD

ABSTRACT

Name : Asep Ruhiat
Study Program : Chemical Engineering
Title : Evaluation of Dubinin-Raduschkevich Equation and Modified on the Representation Gas Adsorption Data on High Pressure Conditions.

Adsorption is one of the separation process commonly used in gas and petrochemical industry. Many research on adsorption have concerned on adsorbent development, lifecycle and regeneration process. There are many research carried out for the development of models concerning the adsorption. Many models adsorption that have been developed. Among of them are Langmuir, BET, and Dubinin-Radushkevich. Each model can represent the adsorption data in the different level of accuracy. Langmuir model and BET have less accuracy in the representing the adsorption data at the high pressure conditions. Previous researches modified had the Langmuir and BET models by substituting the density of the adsorbate, but this modification give in significant changes in the accuracy level. In this research, the DR equation is used represent to the adsorption data from the literature. DR equation has been proven to be able to represent the adsorption data very well. Modification of DR equation is carried out to improve the accuracy level of the original DR equation. Modification of DR equation has been conducted by considering adsorption density influence. Accuracy level had been showed by level of Average Absolute Percent Deviation (AAPD) parameter.

The results on the DR equation on the adsorption data which use activated carbon as adsorbent gave AAPD 1.75%, whereas on the modified DR equation was 1.12%. On zeolite adsorbent the AAPD using DR equation was 2.18% while on the modified DR equation was 1.98%. The adsorption with coal as adsorbent on the AAPD value using DR equation was 1.37% and the modified DR equation result was 0.98%. DR equation and the DR modified gave better accuracy than the Langmuir model and BET; shown by lower AAPD value than the two other models (Langmuir & BET)

Key Words: Adsorption, Modification, DR equation, Langmuir, BET, AAPD

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
DAFTAR KONVERSI SATUAN.....	xvii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Perumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Adsorpsi.....	6
2.2 Jenis – Jenis Adsorpsi.....	7
2.2.1 Adsorpsi Secara Kimia.....	7
2.2.2 Adsorpsi Secara Fisika.....	8
2.2.3 Perbandingan Adsorpsi Kimia dan Fisika.....	9
2.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Adsorpsi.....	10
2.4 Menentukan Kapan Proses Pemisahan Menggunakan Adsorpsi.....	12
2.5 Adsorben.....	13
2.5.1 Pemilihan Adsorben.....	14
2.5.2 Jenis-jenis Adsorben.....	16
2.5.2.1 Karbon Aktif.....	17
2.5.2.2 Zeolit.....	19
2.5.2.3 Alumina Aktif.....	21
2.5.2.4 Silika Gel.....	22
2.5.2.5 Zeocarbon.....	23
2.6 Kesetimbangan Adsorpsi Gas Tunggal.....	23
2.6.1 Model-model Adsorpsi Isotermal.....	24
2.6.1.1 Model Langmuir.....	25
2.6.1.2 Model BET.....	27
2.6.1.3 Model Teori IAS.....	29
2.6.1.4 Model <i>Theory of volume filling of microporous</i> (TVFM).....	29
2.6.1.4.1 Model <i>Dubinin-Radushkevich</i>	32

3. METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 Tahapan Penelitian	39
3.2.1 Tahap I: Pengumpulan Data dari Literatur	39
3.2.2 Tahap II: Memasukan Data Percobaan dari Literatur Kedalam Spreadsheet	43
3.2.3 Tahap III: Membuat Model DR untuk Adsorpsi Isotermal Gas Tunggal Dengan Menggunakan Spreadsheet	44
3.2.4 Tahap IV: Melakukan Optimasi Parameter-parameter yang Ada Dalam Model DR.....	44
3.2.5 Tahap V: Modifikasi dan Optimasi Model DR.....	45
3.2.6 Tahap VI: Menganalisa Hasil Perhitungan	46
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Karbon Aktif.....	47
4.2 Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Zeolit.....	53
4.3 Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Batubara.....	59
4.4 Perbandingan Persen AAPD Model DR, Langmuir dan BET	62
4.5 Perbandingan Persen AAPD Modifikasi Model DR, Langmuir dan BET.....	64
5. KESIMPULAN	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Perbandingan Adsorpsi Fisika dan Kimia	10
Tabel 2.2	Contoh Adsorben dan Penggunaannya	15
Tabel 2.3	Klasifikasi Adsorben Berdasarkan Strukturnya.....	16
Tabel 2.4	Klasifikasi Adsorben Berdasarkan Ukuran Pori.....	16
Tabel 2.5	Jumlah Adsorbat dan Jumlah Monolayer Teoritis Untuk Zeolit CaA dan NaX	30
Tabel 2.6	Data Adsorpsi Benzen dengan Menggunakan Karbon Aktif.....	36
Tabel 2.7	Tekanan Uap dan Molar Volume Cairan Benzen.....	36
Tabel 3.1	Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Karbon Aktif.....	41
Tabel 3.2	Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Zeolit	42
Tabel 3.3	Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Batubara.....	43
Tabel 4.1	Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif.....	48
Tabel 4.2	Data AAPD Sistem No 8 pada T = 50 °F, T = 86 °F, dan T=112 °F	53
Tabel 4.3	Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Zeolit	54
Tabel 4.4	Data AAPD Sistem No 15 pada T = 77 °F, T=122 °F, dan T=167 °F	58
Tabel 4.5	Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Batubara.....	60
Tabel 4.6	Perbandingan AAPD Model DR, Langmuir, dan BET	62
Tabel 4.7	Perbandingan AAPD Model Hasil Modifikasi Model DR, Langmuir, dan BET	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi struktur karbon aktif yang terdiri dari bentuk pentagonal, heptagonal, dan heksagonal.....	17
Gambar 2.2 Gambaran umum struktur (a) karbon aktif baru dan (b) karbon aktif yang sudah ditreatment pada temperatur 2000 °C dengan menggunakan HRTEM.....	18
Gambar 2.3 Ilustrasi struktur zeolit (a) zeolit tipe LTA contoh zeolit A, (b) tipe FAU contoh zeolit Y, dan (c) tipe MFI contoh ZSM-5	21
Gambar 2.4 Alumina aktif	21
Gambar 2.5 Silika gel	22
Gambar 2.6 5 tipe adsorpsi isotermaal yang diklasifikasikan oleh BDDT, dimana P_0 adalah tekanan uap jenuh berdasarkan IUPAC.....	24
Gambar 2.7 Ilustrasi energi fluktuasi pada permukaan adsorben	25
Gambar 2.8 Diagram skema mekanisme adsorpsi Langmuir	26
Gambar 2.9 Kemungkinan mekanisme adsorpsi pada CaA dan NaX	31
Gambar 2.10 Kurva hubungan antara model DR terhadap penurunan tekanan	34
Gambar 2.11 Kurva proses adsorpsi benzen/ karbon aktif dengan menggunakan model DR.....	37
Gambar 3.1 Skema tahapan penelitian untuk merepresentasikan data adsorpsi gas	40
Gambar 4.1 Adsorpsi gas CH ₄ dengan adsorben karbon aktif untuk sistem no.8 pada T= 50 °F, 86 °F, dan 122 °F.....	52
Gambar 4.2 Adsorpsi gas C ₂ H ₆ dengan adsorben zeolit untuk sistem no.15 pada T= 77 °F, 122 °F, dan 167 °F.....	57
Gambar 4.3 Adsorpsi CH ₄ dalam batubara (sistem 23) pada T=115,1 °F	61
Gambar 4.4 Kurva perbandingan AAPD model DR, Langmuir, dan BET	63
Gambar 4.5 Kurva perbandingan AAPD model hasil modifikasi	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Karbon Aktif

- Lampiran A.1.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=85,7 °F.
- Lampiran A.1.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=121,7 °F
- Lampiran A.1.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=157,7 °F
- Lampiran A.1.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=191,9 °F
- Lampiran A.1.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=229,7 °F
- Lampiran A.2.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 85,7 °F
- Lampiran A.2.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 121,7 °F
- Lampiran A.2.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 157,7 °F
- Lampiran A.2.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 193,7 °F
- Lampiran A.2.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 229,7 °F
- Lampiran A.3.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 40,7 °F
- Lampiran A.3.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 58,7 °F
- Lampiran A.3.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 76,7 °F
- Lampiran A.3.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 85,7 °F
- Lampiran A.3.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 94,7 °F
- Lampiran A.3.6 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 112,7 °F
- Lampiran A.3.7 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 130,7 °F
- Lampiran A.4.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₈ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 85,7 °F
- Lampiran A.4.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₈ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 121,7 °F
- Lampiran A.4.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₈ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 157,7 °F
- Lampiran A.4.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₈ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 193,7 °F

- Lampiran A.4.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 229,7\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.5.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 77\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.6.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 77\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.7.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 68\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.7.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 86\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.7.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 104\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.7.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 122\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.7.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 68\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.8.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 50\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.8.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 68\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.8.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 86\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.8.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 104\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.8.5 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 122\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.9.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 73,1\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.9.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 211,8\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.9.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 404,4\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.10.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 73,1\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.10.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 211,8\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.10.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 404,4\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.11.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 89,1\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.11.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 100,9\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.11.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 136,6\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.11.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 171,3\text{ }^\circ F$
- Lampiran A.12.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada $T= 89,6\text{ }^\circ F$

- Lampiran A.12.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 100,4 °F
- Lampiran A.12.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 133,5 °F
- Lampiran A.12.4 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 167,2 °F
- Lampiran A.13.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= -106,6 °F
- Lampiran A.13.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= -22 °F
- Lampiran A.13.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, Pada T= 77 °F

Lampiran B Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Zeolit

- Lampiran B.1.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.
- Lampiran B.1.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.
- Lampiran B.1.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.
- Lampiran B.2.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.
- Lampiran B.2.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.
- Lampiran B.2.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.
- Lampiran B.3.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.
- Lampiran B.3.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.
- Lampiran B.3.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.
- Lampiran B.4.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.
- Lampiran B.4.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.
- Lampiran B.4.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.
- Lampiran B.5.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.
- Lampiran B.5.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=85,8 °F.
- Lampiran B.6.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.

- Lampiran B.6.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_4 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=85,8$ °F.
- Lampiran B.7.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_6 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=49,8$ °F.
- Lampiran B.7.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_6 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=85,8$ °F.
- Lampiran B.8.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=49,8$ °F.
- Lampiran B.8.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=86$ °F.
- Lampiran B.8.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=123,98$ °F.
- Lampiran B.9.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas H_2S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=50$ °F.
- Lampiran B.9.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas H_2S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=86$ °F.
- Lampiran B.9.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas H_2S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=149$ °F.
- Lampiran B.9.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas H_2S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada $T=203$ °F.

Lampiran C Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Batubara

- Lampiran C.1 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH_4 dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada $T=115,1$ °F.
- Lampiran C.2 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada $T=115,3$ °F.
- Lampiran C.3 Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO_2 dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada $T=115,3$ °F.

DAFTAR SIMBOL

A	Potensi adsorpsi
E	Energi karakteristik; potensi adsorpsi
E_0	Energi karakteristik terhadap pembanding
α	Kemungkinan menempel atau koefisien akomodasi
b	Konstanta afinitas, konstanta Langmuir
$k_{d\infty}$	Konstanta laju desorpsi temperatur afinitas
P	Tekanan gas total yang teradsorpsi; tekanan Operasi
D	Konstanta yang model DR yang berhubungan energi karakteristik
P_0	Tekanan uap murni gas
P_{Si}	Tekanan jenuh adsorben
R	Konstanta gas pada tekanan absolut
r_k	Radius Kelvin
π	Tekanan penyebaran larutan
T	Temperatur operasi
W	Volume adsorbat
k_1, k_2	Tetapan laju adsorpsi dan desorpsi
θ	sudut kontak, $\theta=0$ untuk gas N_2 ; Fraksi yang ditempati oleh adsorbat
σ	Tegangan permukaan
v	Volume gas teradsorpsi (STP)/g
v	Jumlah adsorbat (ml/gram)
v_m	Volume gas pembentuk lapisan <i>monolayer</i>
n	Jumlah gas teradsorpsi moles/g
n_m	Jumlah maksimum gas yang teradsorpsi pada lapisan monolayer
ΔH_{ads}	Entalpi adsorpsi
Q	Panas adsorpsi
β	Konstanta kemiripan
V_m	Volume molar larutan
B	Konstanta isotherm Langmuir

DAFTAR KONVERSI SATUAN

1. Tekanan

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Psia} = 1 \text{ lb}_f/\text{in.}^2$$

$$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ Psia} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg at } 0^\circ\text{C} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

2. Densitas dan Volume

$$1 \text{ g mol gas ideal pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 22.4140 \text{ liter} = 22414 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ kg mol gas ideal pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 22.414 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62.43 \text{ lbm/ft}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densitas udara kering pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 1.2929 \text{ g/liter} = 0.080711 \text{ lbm/ft}^3$$

3. Konstanta Gas, R

$$669.9542893 \text{ (Psi cm}^3\text{)/(mol }^\circ\text{R)}$$

$$10.73 \text{ (Psia) (ft}^3\text{) (lb mol) (}^\circ\text{R)}$$

$$0.08206 \text{ (L) (atm)/ (g mol) (K)}$$

$$8.314 \text{ (kPa) (m}^3\text{)/ (kg mol) (K)}$$

4. Faktor Konversi lainnya

$$\text{\AA} = 1,00 \times 10^{-10} \text{ meter}$$

$$T^\circ\text{F} = (9/5 \times T^\circ\text{C}) + 32$$

$$T^\circ\text{C} = 5/9 \times (T^\circ\text{F} - 32)$$

$$T \text{ K} = T^\circ\text{C} + 273.15$$

$$T^\circ\text{C} = T \text{ K} - 273.15$$

$$T^\circ\text{R} = T^\circ\text{F} + 459.67$$

$$T^\circ\text{F} = T^\circ\text{R} - 459.67$$

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak pernah terlepas dari peranan industri gas dan petrokimia. Proses-proses yang dilakukan dalam industri tersebut bisa berupa pencampuran ataupun pemisahan dengan tujuan mendapatkan nilai ekonomis dari produk yang dihasilkan. Khusus untuk industri gas alam proses yang banyak dilakukan adalah pemisahan, karena gas alam sebagai bahan baku merupakan suatu campuran dari beberapa komponen. Gas alam tersebut dipisahkan/ dimurnikan menjadi komponen yang lebih sederhana sesuai dengan kebutuhan.

Proses pemisahan dapat dilakukan dengan cara adsorpsi, absorpsi, distilasi, ekstraksi, dll. Proses pemisahan (*separasi*) merupakan proses pembentukan dua atau lebih komponen dari suatu komponen campuran. Pemisahan cenderung lebih susah dilakukan karena berlawanan dengan proses pencampuran. Sampai awal tahun 1960-an pengembangan proses pemisahan secara adsorpsi mulai banyak dilakukan khususnya untuk pemanfaatan bagi industri pengolahan/ pemurnian udara.

Adsorpsi atau penyerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penyerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat terjerap, adsorbat) pada permukaannya[1]. Adsorpsi dapat terjadi secara kimia dan fisika akibat gaya tarik menarik antar molekul. Proses adsorpsi terjadi akibat permukaan suatu padatan yang tidak berkesinambungan dan memiliki gaya tarik, sehingga pada saat kontak dengan gas bebas akan terjadi adsorpsi dimana padatan tersebut menarik gas bebas untuk membentuk lapisan pada permukaan padatan tersebut. Proses adsorpsi dapat terjadi jika salah satu dari tiga mekanisme berikut terjadi; sterik, kinetik, dan kesetimbangan. efek sterik merupakan pemisahan akibat bentuk permukaan adsorben, efek kinetik terjadi akibat perbedaan laju difusi antar molekul, sedangkan mekanisme lainnya yaitu akibat

adanya kesetimbangan didalam suatu campuran. Berbeda dengan absorpsi yang merupakan penyerapan fluida oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan.

Pengembangan teknologi adsorpsi ditujukan terutama untuk mencari jenis adsorben dan kemungkinan-kemungkinan proses *cycle* yang baru. Perkembangan pertama mengenai hal tersebut ditunjukkan oleh penemuan sintetik zeolit oleh Miler di perusahaan bernama Union Carbide Corporation. Sedangkan mengenai pengembangan proses *cycle* yang dimaksud termasuk mengenai regenerasi adsorben yang sudah jenuh, dimana regenerasi dilakukan salah satunya dengan cara pemanasan, meskipun cara ini dianggap kurang efisien karena membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Adsorben lain yang dikembangkan adalah karbon aktif.

Dalam melakukan desain suatu proses seorang proses engineer biasanya menggunakan sebuah simulasi dengan menggunakan suatu metode. Metode-metode yang dapat digunakan dalam simulasi proses adsorpsi diantaranya adalah model Langmuir, model *Brunauer-Emmet-Teller* (BET), Model *Dubin-Radushkevich* (DR), dll. Setiap metode memiliki pendekatan yang berbeda sehingga memiliki parameter yang berbeda pula. Dalam penelitian ini penulis hanya akan melakukan permodelan adsorpsi *single gas* dengan menggunakan model DR. Model DR merupakan pengembangan dari model-model sebelumnya seperti BET dan Langmuir.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa model Langmuir dan BET tidak terlalu akurat dalam merepresentasikan data adsorpsi pada tekanan tinggi [2,3]. Dalam penelitian tersebut telah dilakukan modifikasi model Langmuir dan BET dengan penambahan koreksi terhadap densitas gas teradsorpsi, tetapi modifikasi model tersebut hanya merubah tingkat akurasi yang tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu pada penelitian ini akan digunakan model DR untuk merepresentasikan data adsorpsi tersebut. Model DR ini telah terbukti dapat merepresentasikan data adsorpsi dengan baik [4]. Selain itu akan dilakukan modifikasi pada model DR dengan harapan dapat memperbaiki tingkat akurasi dibandingkan dengan model DR secara aslinya.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini ditujukan untuk mengevaluasi keakuratan model DR dalam merepresentasikan data adsorpsi serta memodifikasinya. Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan secara lebih spesifik adalah:

1. Mempresentasikan data adsorpsi gas tunggal pada tekanan tinggi dengan menggunakan model DR.
2. Membandingkan hasil representasi model DR pada tekanan tinggi dengan model Langmuir dan BET.
3. Memodifikasi model DR dengan menambahkan koreksi terhadap densitas gas teradsorpsi.
4. Membandingkan akurasi model DR setelah dimodifikasi dengan modifikasi Langmuir dan modifikasi BET.

1.3. Perumusan Masalah

Model Langmuir dan model BET merupakan model yang paling sederhana dan sering digunakan dalam merepresentasikan data adsorpsi. Tetapi kedua model tersebut memiliki tingkat akurasi yang kurang baik pada tekanan tinggi. Dalam hal ini model Langmuir dan BET menunjukkan nilai yang terus meningkat seiring dengan peningkatan tekanan akan tetapi data percobaan menunjukkan jumlah zat teradsorpsi yang menurun setelah melewati tekanan tertentu. Hal ini disebabkan karena model Langmuir dan BET didasarkan pada adsorpsi absolut sedangkan data eksperimen merupakan adsorpsi Gibbs. Modifikasi model Langmuir dan BET dengan penambahan koreksi terhadap densitas gas teradsorpsi hanya memberikan penambahan tingkat akurasi yang masih kurang memuaskan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan model DR dengan harapan model ini dapat merepresentasikan data adsorpsi dengan tingkat akurasi yang lebih baik dari model Langmuir dan model BET. Serta melakukan modifikasi model DR dengan menambahkan koreksi terhadap densitas gas teradsorpsi.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi permasalahan pada beberapa hal berikut:

1. Data yang digunakan untuk mengevaluasi model DR merupakan data adsorpsi isothermal berbagai macam gas serta adsorben yang berasal dari literatur.
2. Model yang digunakan dalam adsorpsi isothermal adalah model DR.
3. Gas yang terlibat adalah single komponen
4. Adsorben dan gas yang digunakan pada penelitian adalah :
 - Zeolit: H_2S , N_2 , C_2H_6 , C_2H_4 , CH_4
 - Karbon aktif: N_2 , C_2H_6 , C_2H_4 , CH_4 , CO_2 , H_2
 - Batubara: N_2 , CH_4 , CO_2

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 beberapa literatur dan 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 metode yang dipakai dalam penelitian yang mencakup tahapan-tahapan penelitian. Bagian ini juga menjelaskan diagram alir penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan pembahasan terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan dua model, yaitu model DR dan model hasil modifikasi model DR.

BAB 5 KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses penyerapan molekul (gas atau cair) oleh permukaan (padatan). Definisi tersebut digunakan untuk menjelaskan terjadinya akumulasi molekul-molekul gas pada permukaan padatan. Adsorpsi dapat terjadi karena interaksi gaya elektrostatis atau Van der Waals antar molekul (*physisorption*/fisisorpsi) maupun oleh adanya interaksi kimiawi antar molekul (*chemisorption*/kimisorpsi) [6].

Proses adsorpsi merupakan salah satu proses pemisahan, proses pemisahan suatu dari suatu campuran dapat terjadi dengan salah satu mekanisme dibawah ini [4]:

1. Steric, merupakan pemisahan akibat bentuk dari suatu permukaan adsorben sehingga dapat menarik suatu gas atau cairan pada permukaan padat tersebut dimana terjadi proses penggantian posisi antar molekul gas atau cairan tersebut.
2. Kinetik, adsorpsi terjadi akibat adanya perbedaan laju difusi suatu molekul
3. Kesetimbangan campuran, dimana kesetimbangan suatu campuran dapat mempengaruhi proses adsorpsi karena suatu molekul akan menuju ke titik kesetimbangannya.

Pada skala makro adsorpsi dapat diartikan sebagai proses padatan berpori yang menarik sejumlah dari suatu cairan maupun gas. Penerapan proses adsorpsi sudah dilakukan sejak lama, Pada jaman dahulu di Mesir, Yunani dan Romawi menggunakan material seperti tanah lumpur, pasir dan batubara digunakan untuk proses desalinasi air. Selain itu, Salah satu proses yang menggunakan prinsip proses adsorpsi pada jaman dahulu adalah penggunaan karbon aktif untuk menghilangkan warna pada industri gula Belanda yang masih tradisional.

Banyak teori yang telah memberikan penjelasan mengenai kekuatan penetrasi dari struktur padatan terhadap komponen-komponen yang teradsorpsi. Dalam teori peristiwa adsorpsi dianalogikan sebagaimana halnya penyebaran cairan minyak diatas air. Secara sederhana pada proses adsorpsi digambarkan bahwa molekul yang berasal dari fluida ditarik oleh atom dari padatan. Pada beberapa adsorben seperti alumina dan karbon aktif yang memiliki struktur yang amorf dan memiliki banyak pori-pori yang kecil dapat membentuk luas permukaan yang sangat luas sehingga molekul-molekul yang teradsorpsi akan semakin banyak. Untuk adsorben itu sendiri memiliki karakteristik masing-masing, terutama struktur yang dimilikinya, sehingga masing-masing adsorben akan menunjukkan reaksi yang berbeda. Sedangkan untuk molekul yang teradsorpsi tidak akan mengalami perubahan karakternya sekalipun mengalami perubahan bentuk.

2.2 Jenis-jenis Adsorpsi

Jika dilihat dari proses terjadinya adsorpsi, adsorpsi dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika. Keduanya memiliki ciri masing-masing yang akan dijelaskan sebagai berikut.

2.2.1 Adsorpsi Secara Kimia

Chemisorption (atau adsorpsi kimia) adalah adsorpsi adanya gaya valensi yang membentuk senyawa kimia. Hal-hal yang membedakan antara *chemisorption* dan *physisorption* (dapat dilihat pada Tabel 2.1) dimana pada dasarnya sama dengan membedakan antara interaksi kimia dan fisika secara umum. Keduanya tidak memiliki perbedaan yang signifikan tetapi dapat dibandingkan dengan melihat kasus yang ada, misalnya, adsorpsi yang melibatkan ikatan hidrogen yang kuat.

Beberapa hal yang dapat digunakan untuk mengenali bahwa adsorpsi terjadi secara kimiawi/ *chemisorption* diantaranya [8]:

- a. Memiliki ciri khusus yaitu terjadi/ melibatkan reaksi kimia
- b. Adanya perubahan muatan elektron yang dapat dideteksi oleh *infrared spectroscopy*.
- c. Terjadi perubahan sifat kimia dari adsorbat dan kemungkinan tidak bisa kembali ke sifat semula (*irreversible*).
- d. Energi *chemisorption* sama dengan energi perubahan untuk reaksi kimia antara fluida dan padatan. Seperti halnya reaksi kimia secara umum, reaksi dapat terjadi secara eksotermal ataupun endotermal dan besarnya energi bisa bervariasi.
- e. Tahap awal pada adsorpsi *chemisorption* melibatkan energi aktivasi.
- f. Energi aktivasi yang diperlukan adalah besar sehingga sangat lambat untuk mencapai kesetimbangan bahkan tidak sama sekali.
- g. Hanya terbentuk satu lapis pada saat terjadi adsorpsi (adsorpsi *monolayer*).

2.2.2 Adsorpsi Secara Fisika

Physisorption (atau adsorpsi fisik) adalah adsorpsi yang melibatkan gaya antar molekul (gaya *Van der Waals*) sama halnya dengan gaya yang terdapat pada proses kondensasi uap dan kelemahan yang ada pada gas nyata, dan tidak ada perubahan yang signifikan pola orbital elektron dari molekul yang terlibat. Beberapa hal yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan suatu proses adsorpsi berlangsung secara fisika/ *physisorption* diantaranya [8]:

- a. Secara umum proses adsorpsi ini terjadi antara fluida dengan padatan
- b. Pengaruh terhadap posisi elektron adsorbat dan adsorben sangat kecil.
- c. Tidak ada perubahan secara kimiawi pada adsorbat sehingga sifat dan karakter komponen adalah identik.

- d. Energi interaksi antara molekul adsorben dan adsorbat besarnya sama dan terkadang lebih besar dibandingkan energi kondensasi adsorpsi.
- e. Pada tahap dasar adsorpsi secara fisika tidak melibatkan energi aktivasi, sehingga terjadi dengan lambat, tergantung temperatur operasi, dan kemungkinan proses dipengaruhi oleh kesetimbangan antar komponen.
- f. Pada adsorpsi secara fisik, kesetimbangan terbentuk antara adsorbat dan fasa fluid. Pada sistem padatan/gas pada tekanan yang tidak terlalu tinggi tingkat adsorpsi secara fisik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gas.
- g. Proses adsorpsi fisika dapat membentuk lapisan film pada adsorben lebih dari satu lapis.

Adsorpsi fisika dipengaruhi oleh dua gaya yaitu gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, dan gaya *intermolecular* adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri. Adsorpsi ini berlangsung cepat, dapat membentuk lapisan jamak (*multilayer*), dan dapat bereaksi balik (*reversible*), karena energi yang dibutuhkan relatif rendah. Energi aktivasi untuk terjadinya adsorpsi fisika biasanya adalah tidak lebih dari 1 kkal/gr-mol, sehingga gaya yang terjadi pada adsorpsi fisika termasuk lemah. Adsorpsi fisika dapat berlangsung di bawah temperatur kritis adsorbat yang relatif rendah sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga rendah yaitu sekitar 5 – 10 kkal/gr-mol gas, lebih rendah dari panas adsorpsi kimia.

2.2.3 Perbandingan Adsorpsi Kimia dan Fisika

Jika dibandingkan antara kedua adsorpsi ini maka dapat disimpulkan seperti Tabel 2.1 berikut ini. Setiap proses memiliki sifat dan karakter masing-masing yang dapat kita bandingkan.

Tabel 2.1. Perbandingan Adsorpsi Fisika dan Kimia [9]

Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Mekanisme	Akibat adanya gaya Van der Waals	Akibat adanya gaya ikatan kimia antar molekul
Entalpi	Entalpi yang diperlukan rendah (20-40 kJ/mol)	Entalpi yang diperlukan tinggi (200-400 kJ/mol)
Temperatur operasi	Terjadi pada temperatur rendah	Terjadi pada temperatur tinggi
Selektifitas	Tidak selektif	Selektif
Layer yang terbentuk	Mungkin terbentuk <i>multi layer</i>	Secara umum hanya terbentuk satu layer (<i>monolayer</i>)
Reversibility	<i>Reversible</i>	<i>Irreversible</i>

2.3 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Kinerja Adsorpsi

Proses adsorpsi melibatkan dua komponen yaitu adsorbat dan adsorben, dimana keduanya sangat mempengaruhi kinerja dari proses adsorpsi tersebut. Selain sifat masing-masing komponen yang mempengaruhi adsorpsi berikut merupakan hal-hal yang mempengaruhinya:

1. Sifat/ karakter adsorbat, adsorbat merupakan komponen yang akan diadsorpsi, dimana karakter dari adsorbat tersebut mempengaruhi terjadinya proses adsorpsi. Karakter-karakter tersebut diantaranya:
 - Ukuran molekul adsorbat, sifat ini berpengaruh karena ukuran rongga adsorben adalah sudah pasti sehingga ukuran adsorbat tertentu yang hanya bisa mengisi rongga tersebut. Dapat dianalogikan seperti filtrasi dimana ukuran partikel filtrat yang kecil yang hanya bisa melewati rongga filter. Sehingga hanya molekul adsorbat yang sama atau lebih kecil dari rongga adsorben yang bisa teradsorpsi.

- Polaritas, molekul adsorbat yang lebih polar bisa dan akan menggeser molekul adsorbat yang lebih kecil meskipun sudah teradsorpsi. Hal tersebut dapat terjadi ada molekul adsorbat yang memiliki ukuran partikel yang sama. Sehingga proses adsorpsi dapat terus berlangsung akibat adanya polaritas yang berbeda antar molekul adsorbat.
2. 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:
- Jenis adsorben, hal ini sangat jelas mempengaruhi proses adsorpsi karena setiap jenis adsorben yang digunakan memiliki selektifitas dan respon yang berbeda terhadap suatu adsorbat.
 - Kemurnian adsorben, 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.
 - Porositas, sifat ini sangat menentukan performa adsorben karena dapat dianalogikan sebagai daya tampung penjerapan adsorbat. Porositas ini dapat di gambarkan dengan berbagai parameter seperti, *pore volume*, *pore size distribution*, dan *surface area*.
 - Sifat fisik adsorben, dikarenakan adsorben merupakan media untuk menempelnya adsorbat maka sifat fisiknya sangat berpengaruh diantaranya: *bulk density*, *crush strength*, *erosion resistance*.
3. Kondisi operasi;
- Sudah dapat dipastikan bahwa proses adsorpsi sangat dipengaruhi juga oleh kondisi operasi, variabel yang mempengaruhi diantaranya adalah tekanan dan temperatur operasi.
- Temperatur, adsorpsi merupakan proses eksotermis sehingga jumlah adsorbat akan bertambah dengan berkurangnya temperatur adsorbat.

Adsorpsi fisika yang substansial biasa terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat, terutama dibawah 50°C .

- Tekanan, untuk adsorpsi fisika, kenaikan tekanan adsorbat mengakibatkan kenaikan jumlah zat yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, jumlah yang diadsorpsi berkurang dengan naiknya tekanan adsorbat.

2.4 Menentukan Kapan Proses Pemisahan Menggunakan Adsorpsi [4]

Proses pemisahan memiliki peranan yang sangat penting dalam bidang industri pengolahan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya proses pemisahan ini ditujukan untuk memisahkan suatu campuran untuk mendapatkan nilai ekonomis yang lebih besar dari suatu produk. Proses pemisahan dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan adsorpsi. Karena selain adsorpsi, proses pemisahan dapat juga dilakukan dengan distilasi dan lainnya. Kapankah suatu proses dapat dilakukan dengan menggunakan adsorpsi? Hal tersebut harus mempertimbangkan beberapa faktor termasuk efisiensi dari proses yang akan dipilih.

Berikut adalah beberapa kriteria dimana proses pemisahan dapat diputuskan dengan menggunakan adsorpsi:

1. Rentang volatilitas relatif antara komponen-komponen yang ingin dipisahkan sekitar 1.2 – 1.5 atau lebih rendah.
2. Komponen yang akan dipisahkan memiliki titik didih yang berdekatan dimana lebih sukar dilakukan dengan proses distilasi. Bahkan adsorpsi akan lebih efektif lagi jika komponen-komponen tersebut secara kimia dan geometri berbeda.
3. Biaya pemisahan dengan adsorpsi secara umum lebih rendah jika dibandingkan pemisahan dengan metode lain. Proses adsorpsi memerlukan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan proses destilasi.

2.5 Adsorben [4].

Adsorben merupakan media padatan yang digunakan untuk menjerapan suatu fluida dalam proses adsorpsi. Adsorben merupakan elemen penting dalam proses adsorpsi karena ikut menentukan performa proses yang terjadi. Karakter adsorben itu sendiri terdiri dari sifat fisik dan kimianya sangat berpengaruh terhadap hal tersebut, parameter yang paling penting dari adsorben adalah porositas adsorben yang digunakan. Dimana karakter fisika tersebut lebih dominan jika dibandingkan dengan sifat kimianya. Struktur pori-pori adsorben merupakan bentuk mikroskopis suatu adsorben yang dapat diketahui dengan metode standar. Biasanya porositas adsorben dapat ditampilkan sebagai berikut:

- a. Volume pori
- b. Luas permukaan kontak
- c. Distribusi/ sebaran ukuran pori.

Penentuan volume pori baik berupa total volume pori, distribusi pori, dan ukuran pori suatu partikel yang diperlukan didasarkan pada penentuan densitas dari Merkuri dan Helium. Porositas dapat ditunjukkan dengan membandingkan daya penetrasi Helium yang memiliki ukuran partikel kecil atau juga dengan membandingkan kemampuan penetrasi Merkuri pada suatu rongga pada tekanan *ambient*. Total volume pori setara dengan perbedaan antar kekosongan. Sedangkan distribusi ukuran pori (*pore size distribution*) diukur dengan menggunakan merkuri *porosimeter* untuk pori dengan ukuran lebih besar dari 100-150 Angstrom, serta dengan menggunakan desorpsi gas N₂ untuk rentang ukuran pori 10-250 Angstrom. Ukuran pori/ radius (r) dapat ditentukan dengan membandingkan antara tegangan permukaan (*interfacial tension*) dengan tekanan (P) seperti persamaan berikut:

$$r = \frac{-2\sigma m \cos \theta}{p} \quad (2.1)$$

Dimana, σ = tegangan permukaan
 θ = sudut kontak

Secara umum nilai σ sekitar 0.48 N/m dan θ rata-rata sebesar 140° . Persamaan diatas diturunkan menjadi $r=7500/P$ dimana P dalam atm dan r dalam Angstrom. Pada teknik yang lebih maju desorpsi N_2 memiliki keuntungan ketika terjadi kondensasi secara kapiler pada tekanan relatif. Hal ini disebabkan karena kesetimbangan tekanan uap cekungan miniskus (P) yang lebih kecil dibandingkan tekanan diatas permukaan lurus (P_0), hal tersebut ditampilkan dengan persamaan Kelvin sebagai berikut:

$$\frac{\ln P}{P_0} = \frac{-2\sigma V_m \cos \theta}{r_k RT} \quad (2.2)$$

Dimana,
 V_m = Volume molar larutan
 r_k = radius Kelvin
 R dan T = konstanta gas dan tekanan absolute
 $\theta = 0$, untuk gas N_2

Selain hal tersebut diatas sifat fisik lainnya yang penting adalah ketahanan/kekuatan material dari adsorben perlu dipertimbangkan pula, karena jika kekuatannya tidak terlalu bagus maka umur adsorben tidak akan lama karena mengalami kerusakan fisik akibat tekanan operasi pada saat terjadinya kontak dengan adsorbat.

2.5.1 Pemilihan Adsorben

Dalam melakukan proses adsorpsi hal yang paling penting dilakukan adalah menentukan jenis adsorben yang akan digunakan. Pemilihan jenis adsorben ini petamata tergantung dari bahan yang akan diadsorpsi, karena setiap adsorben memiliki selektifitas yang berbeda terhadap suatu material. Selain itu juga berdasarkan porositasnya seperti yang telah disebutkan sebelumnya maka adsorben yang dipilih harus memiliki porositas yang baik dimana ukuran pori-porinya minimal sama dengan ukuran partikel yang diadsorpsi. Bahkan yang paling penting dalam menentukan jenis adsorben yang akan digunakan adalah mengenai kesetimbangan campuran dengan fluida yang akan diadsorpsi pada temperatur dan tekanan tertentu perlu dipertimbangkan. Berdasarkan hal tersebut diatas maka beberapa hal yang perlu

diperhatikan pada saat menentukan jenis adsorben yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas adsorben pada rentang temperatur dan tekanan tertentu
2. Prosedur pada saat regenerasi adsorben, dimana jangan sampai adsorben yang dipilih sukar untuk diregenerasi dikarenakan ikatan molekul adsorben dengan adsorbat sangat kuat.
3. Selektifitas adsorben, hal ini ditujukan untuk menentukan produk yang akan dihasilkan sehingga memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi.
4. Umur penggunaan adsorben.
5. Kemurnian produk adsorben, karena dapat mempengaruhi performa adsorpsi dari adsorben tersebut.

Temperatur untuk aktivasi dan regenerasi juga perlu menjadi bahan pertimbangan. Sebagai contoh adsorben zeolit digunakan untuk pengoperasian pada temperatur tinggi yaitu sekitar (300°C) dan karbon aktif digunakan untuk temperatur rendah. Tabel 2.2 berikut adalah beberapa contoh material yang dapat digunakan sebagai adsorben dengan contoh penggunaannya dalam skala industri.

Tabel 2.2. Contoh Adsorben dan Penggunaannya [4]

Adsorben	Penggunaan
Karbon aktif	Memisahkan gas-gas nonpolar dan uap-uap organik (uap pelarut, uap gasolin, dll)
Zeolit: Sintetik, dan alami	Pengeringan dan pemurnian gas H_2 , pemurnian atau pemisahan udara, gas kromatografi, pemisahan yang didasarkan bentuk dan ukuran molekul (contoh pada n-dan iso parafin, senyawa aromatik)
Silika Gel	Pengeringan, gas kromatografi
Alumina aktif	Pengeringan, gas kromatografi

Berdasarkan struktur dan interaksinya dengan air maka adsorben dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu hidrofilik dan hidrofobik adsorben. Pengklasifikasian jenis adsorben tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut:

Tabel 2.3. Klasifikasi Adsorben Berdasarkan Strukturnya [9]

	Amorf	Non Amorf
Hidrofilik	Karbon aktif, polimer	Karbon mekular sieve, silikat
Hidrofobik	Silika gel, alumina aktif	Jenis-jenis zeolit

Selain berdasarkan bentuk strukturnya, adsorben diklasifikasikan berdasarkan ukuran diameter pori-porinya. Dimana terbagi menjadi tiga jenis seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Klasifikasi Adsorben Berdasarkan Ukuran Pori [9]

Tipe	Diameter pori (ω)
Mikropori	$\omega < 2$ nm
Mesopori	$2 < \omega < 50$ nm
Makropori	$\omega > 50$ nm

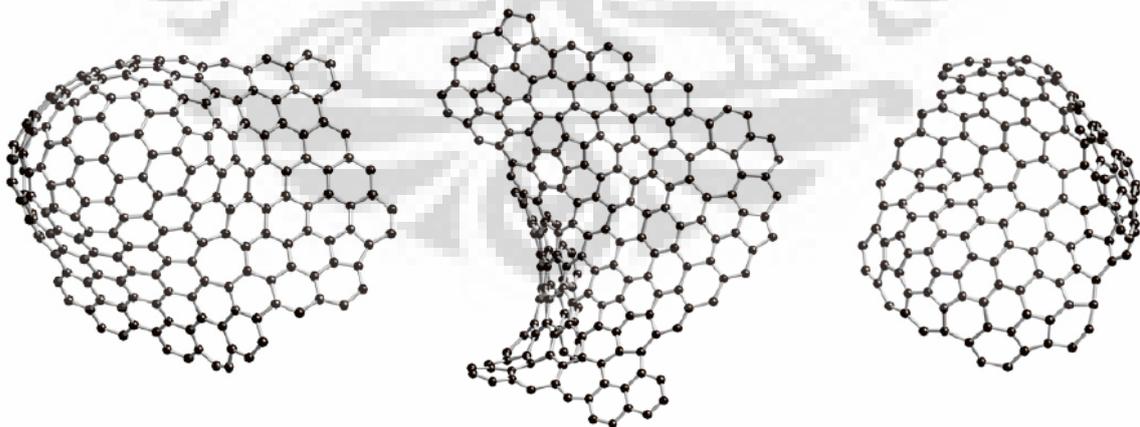
2.5.2 Jenis-jenis Adsorben

Adsorben merupakan bagian penting dalam proses adsorpsi, beberapa material dapat dijadikan adsorben dalam proses adsorpsi. Bahkan banyak perusahaan yang fokus hanya untuk melakukan pengembangan adsorben dengan tujuan meningkatkan performa dari adsorben tersebut. Adsorben-adsorben yang biasa digunakan dalam skala industri diantaranya akan sedikit dibahas dalam sub bab berikut.

2.5.2.1 Karbon Aktif

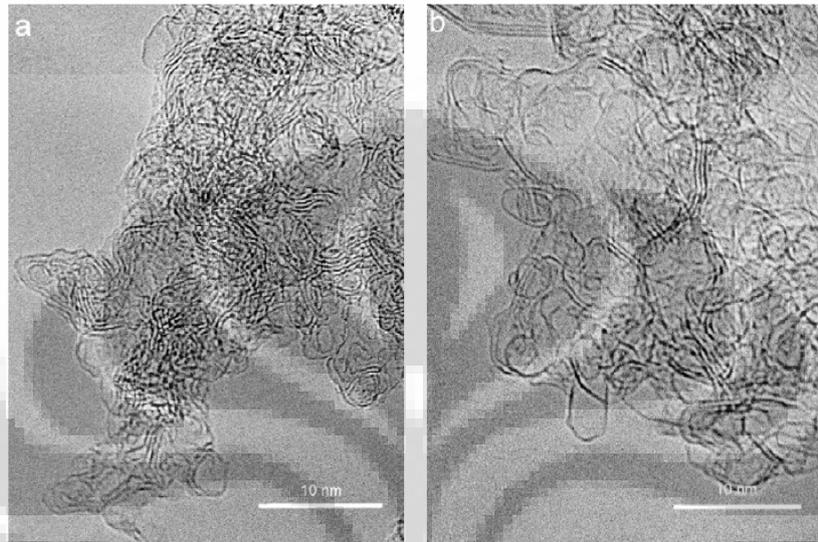
Karbon aktif, atau sering juga disebut sebagai arang aktif, adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang sangat besar. Hal ini bisa dicapai dengan mengaktifkan karbon atau arang tersebut. Hanya dengan satu gram dari karbon aktif, akan didapatkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar 500 m² (didapat dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Biasanya pengaktifan hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun beberapa usaha juga berkaitan dengan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri [10].

Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih tinggi. Karbon aktif mengandung 5 sampai 15 persen air, 2 sampai 3 persen abu dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon aktif berbentuk amorf terdiri dari pelat-pelat datar, disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi pentagonal, heptagonal dan heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang diilustrasikan seperti pada Gambar 2.1. Pelat-pelat tersebut bertumpuk-tumpuk satu sama lain membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon, terdapat senyawa organik lain yang tertinggal pada permukaannya.



Gambar 2.1. Ilustrasi struktur karbon aktif yang terdiri dari bentuk pentagonal, heptagonal, dan heksagonal [15].

Bentuk struktur karbon aktif juga dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang merupakan bentuk struktur karbon aktif yang dianalisa dengan menggunakan alat *high resolution transmission electron microscopy (HRTEM)*.



Gambar 2.2. Gambaran umum struktur (a) karbon aktif baru dan (b) karbon aktif yang sudah ditreatment pada temperatur 2000 °C dengan menggunakan HRTEM[15].

Bahan baku karbon aktif dapat berasal dari bahan nabati atau turunannya dan bahan hewani. Di antaranya adalah tempurung kelapa, serbuk gergaji, ampas tebu, dan bahan-bahan lain yang mengandung karbon. Mutu karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa mempunyai daya serap tinggi, karena arang ini berpori-pori dengan diameter yang kecil, sehingga mempunyai permukaan internal yang luas. Luas permukaan arang adalah 2 m²/gram, tetapi sesudah pengaktifan dengan bahan kimia mempunyai luas sebesar 500 sampai 1500 m²/gram.

Ada 2 tahap utama proses pembuatan karbon aktif yakni proses karbonasi dan proses aktifasi. Menurut Astuti (1990) dijelaskan bahwa secara umum proses karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Pada proses ini terjadi dekomposisi termal dari bahan yang mengandung karbon, dan menghilangkan spesies non karbonnya.

Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbanyak pori setelah mengalami proses karbonisasi, dan meningkatkan penyerapan. Pada umumnya karbon aktif dapat di aktivasi dengan 2 (dua) cara, yaitu dengan cara aktivasi kimia dan aktivasi fisika.

- a) Aktivasi kimia, arang hasil karbonisasi direndam dalam larutan aktivasi sebelum dipanaskan. Pada proses aktivasi kimia, arang direndam dalam larutan pengaktifasi selama 24 jam lalu ditiriskan dan dipanaskan pada suhu $600 - 900^{\circ}\text{C}$ selama 1 – 2 jam.
- b) Aktivasi fisika, yaitu proses menggunakan gas aktivasi misalnya uap air atau CO_2 yang dialirkan pada arang hasil karbonisasi. Yang mana, menurut Bansal (1988), proses ini biasanya berlangsung pada temperatur $800 - 1100^{\circ}\text{C}$.

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben dalam industri proses karena memiliki daya adsorpsi yang baik. Karbon aktif sering digunakan untuk proses-proses permurnian, penghilangan warna, penghilangan bau, dekloronisasi, menghilangkan zat racun, penyaring, menghilangkan garam-garam dan dapat juga di gunakan sebagai katalis (Bansal et al, 1988).

2.5.2.2 Zeolit

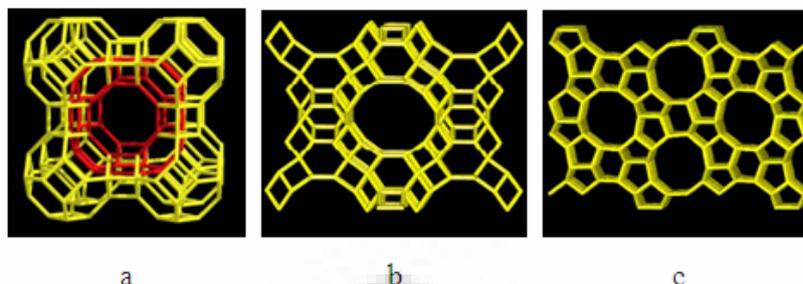
Zeolit adalah senyawa zat kimia alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Secara umum, zeolit memiliki sruktur molekul yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur. Di beberapa tempat di jaringan ini, atom Silicon digantikan degan atom Aluminium, yang hanya terkoordinasi dengan 3 atom Oksigen. Atom Aluminium ini hanya memiliki muatan $3+$, sedangkan Silicon sendiri memiliki muatan $4+$. Keberadaan atom Aluminium ini secara keseluruhan akan menyebabkan zeolit memiliki muatan negatif. Muatan negatif inilah yang menyebabkan zeolit mampu mengikat kation.

Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve/molecular mesh* (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain: mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air (*softener*). Zeolit dengan ukuran rongga tertentu digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin. Zeolit di alam banyak ditemukan di India, Siprus, Jerman dan Amerika Serikat [16].

Agar dapat dimanfaatkan zeolit harus mempunyai spesifikasi tertentu berkaitan dengan hal tersebut kualifikasi zeolit ditentukan oleh daya serap, daya tukar kation (KTK) maupun daya katalis. Oleh sebab itu untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan tinggi diperlukan beberapa pengolahan antara lain [17]:

- a) Preparasi, Tahap ini bertujuan untuk memperoleh ukuran produk yang sesuai dengan tujuan penggunaan. Preparasi terdiri dari tahap peremukan (*crushing*), sampai penggerusan (*grinding*).
- b) Aktivasi, Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan cara menghilangkan unsur-unsur pengotor dan menguapkan air yang terperangkap dalam pori kristal zeolit. Ada dua cara yang umum digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu secara fisika dengan melakukan pemanasan pada suhu 200-400°C selama 2-3 jam, dan kimia dengan menggunakan pereaksi NaOH atau H₂SO₄.
- c) Modifikasi, Proses modifikasi dimaksudkan untuk mengubah sifat permukaan zeolit alam dengan cara melapiskan polimer organik (sintetis dan alamiah) pada zeolit tersebut.

Gambar 2.3 berikut menunjukkan struktur zeolit untuk beberapa tipe tertentu.



Gambar 2.3. Ilustrasi struktur zeolit (a) zeolit tipe LTA contoh zeolit A, (b) tipe FAU contoh zeolit Y, dan (c) tipe MFI contoh ZSM-5 [18].

2.5.2.3 Alumina Aktif

Alumina aktif diproduksi dari hidroksida aluminium dengan proses *dehydroxylating* sehingga menghasilkan bahan yang sangat berpori. Bahan ini bisa mempunyai bidang permukaan secara signifikan di atas $200 \text{ m}^2/\text{g}$. Alumina aktif banyak digunakan sebagai *desiccant* (untuk menjaga sesuatu tetap kering dengan cara menyerap air dari udara) dan sebagai saringan *fluoride*, *arsenic* dan *selenium* dalam pengolahan air minum. Terbuat dari oksida aluminium (alumina; Al_2O_3), yang merupakan bahan kimia yang sama sebagai batu safir (tetapi dalam keadaan murni sehingga tidak memberikan warna seperti batu safir biasanya). Mempunyai perbandingan luas permukaan terhadap berat yang sangat besar, dimana memiliki pori-pori kecil yang sangat banyak dan seperti tunnel pada seluruh permukaannya [11]. Bentuk alumina aktif secara fisik dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4. Alumina aktif [19]

Alumina aktif banyak digunakan sebagai adsorben dan sebagai katalis termasuk pada proses pengolahan industri *polyethylene*, produksi hidrogen peroksida, dan sebagai adsorben yang selektif untuk pemurnian air minum dari *fluoride*, *arsenic* dan *sulfur* pada gas stream (*Claust Catalyst Processes*). Selain itu juga dapat dimanfaatkan sebagai *desiccant* dan diregenerasi dengan dipanaskan sampai temperatur 200°C [11].

2.5.2.4 Silika Gel

Silika gel merupakan padatan silika yang sangat berpori yang merupakan hasil sintetik sodium silikat. Tidak seperti namanya silika gel adalah berbentuk padatan bukan merupakan gel. Silika gel banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dalam kemasan tertentu yang dimanfaatkan sebagai pengering udara terutama untuk makanan supaya tidak terjadi pembusukan akibat adanya air. Silika gel sangat beracun dan sangat mudah mengadsorpsi maka tidak boleh termakan oleh manusia.



Gambar 2.5. Bentuk fisik silika gel.

2.5.2.5 Zeocarbon

Merupakan bahan campuran antara arang dari tempurung kelapa dan batuan vulkanik, material ini memiliki luas permukaan lebih dari 500 m²/gram. Dapat digunakan untuk adsorpsi gas nitrgen dan lainnya. Regenerasi zeokarbon dapat dilakukan dengan tiga cara yaitu;

1. Menggunakan zat asam, tetapi cara ini dapat menimbulkan masalah dikarenakan sebagian zat asam masih tertinggal pada sebagian pori-pori adsorben.
2. Dilakukan steaming dengan harapan dapat terjadi proses desorpsi.
3. Dengan cara pemanasan zeokarbon.

2.6 Keseimbangan Adsorpsi Gas Tunggal

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa adsorpsi terjadi salah satunya karena adanya keseimbangan antara molekul adsorbat dengan adsorben. Dimana keseimbangan adsorpsi terjadi bila larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul dari adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat dilarutan dan padatan dalam keadaan setimbang. Sedangkan yang dimaksud dengan adsorpsi isotermal adalah data keseimbangan adsorpsi pada temperatur tetap/ konstan. Data keseimbangan adsorpsi ditampilkan mulai dari terjadinya adsorpsi sampai mencapai kondisi setimbang.

Dalam proses adsorpsi gas dengan padatan jumlah zat yang teradsorpsi/adsorbat (v) merupakan fungsi dari tekanan (P) dan temperatur (T).

$$v = f(P, T) \quad (2.3)$$

dimana, v = jumlah adsorbat, dinyatakan dalam ml/gram

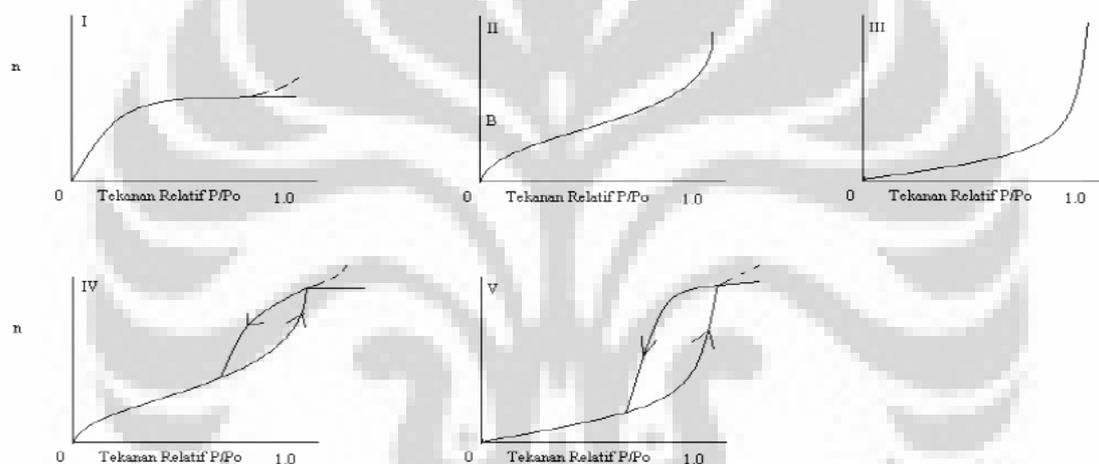
P = Tekanan operasi

T = Temperatur operasi, dalam adsorpsi isothermal nilai T adalah konstan

Secara umum adsorpsi gas dengan padatan berlangsung secara fisika, dimana molekul gas teradsorpsi akibat adanya gaya Van der Waals dan gaya Couloumb dengan adsorben. Jumlah total adsorbat yang dapat teradsorpsi tergantung dari luas permukaan dan porositas dari padatan sebagai adsorben [12].

2.6.1 Model-model Adsorpsi Isothermal

Observasi mengenai adsorpsi isothermal banyak yang mengklasifikasikan kedalam 5 tipe seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 berikut ini.



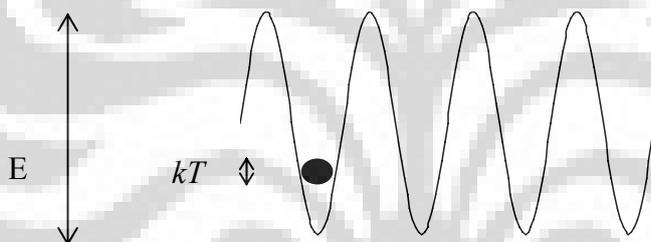
Gambar 2.6.

5 tipe adsorpsi isothermal yang diklasifikasikan oleh BDDT, dimana P_0 adalah tekanan uap jenuh berdasarkan IUPAC.

Banyak teori dan model yang dikembangkan untuk menginterpretasikan tipe-tipe tersebut diatas, dan menghasilkan beberapa persamaan/ model yang dapat memprediksi jumlah adsorbat dari hasil eksperimen yang terbatas. Beberapa model adsorpsi isothermal akan dibahas dibawah ini.

2.6.1.1 Model Langmuir [21]

Pendekatan ini dilakukan oleh Langmuir pada tahun 1918, dan merupakan teori adsorpsi yang paling dasar. Teori ini menggambarkan adsorpsi monolayer pada permukaan ideal. Permukaan ideal merupakan energi fluktuasi (E) dengan besaran amplitudo yang sama, dan besarnya fluktuasi ini lebih besar daripada energi termal molekulnya (kT), sehingga cekungan pantulan energi fluktuasi tersebut menjadi tempat terjadinya adsorpsi. Jika jarak antar kedua palung tersebut lebih besar daripada adsorbat maka adsorpsi yang terjadi disebut *localized* dan tiap-tiap molekul adsorbat hanya menempati satu situs adsorben. Proses terjadinya adsorpsi tersebut dapat dilihat ilustrasinya seperti pada Gambar 2.7.

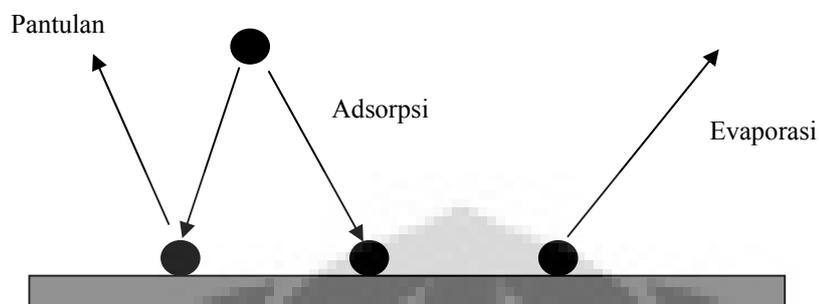


Gambar 2.7. Ilustrasi energi fluktuasi pada permukaan adsorben

Meskipun model Langmuir dapat ditentukan dengan melihat dari sisi kesetimbangan, cara yang terbaik dalam menentukan model Langmuir tersebut adalah dengan menggunakan teori kinetika.

Ketika suatu molekul berbenturan dengan suatu permukaan adsorbat, maka akan ada dua kemungkinan yaitu molekul tersebut akan terpantul atau teradsorpsi. Apabila suatu molekul membentur situs yang sudah terisi oleh molekul maka molekul tersebut akan terpantulkan. Jadi adsorpsi hanya akan terjadi pada suatu situs yang kosong. Setelah menempati suatu situs, molekul yang teradsorpsi mungkin akan ter evaporasi dari situs yang ditempatinya.

Proses kemungkinan teradsorpsi atau terpantulannya suatu molekul pada suatu permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Diagram skema mekanisme adsorpsi Langmuir.

Dari penjelasan tersebut diatas maka dalam model adsorpsi Langmuir ada beberapa hal yang biasanya selalu diasumsikan yaitu:

1. Adsorbat hanya menempati satu situs pada adsorben,
2. Setiap situs adsorben hanya dapat ditempati oleh satu molekul adsorbat
3. Tidak ada interaksi antara situs adsorben yang bersebelahan baik berupa gaya van der Waals.

Kesetimbangan antara laju adsorpsi dan evaporasi (desorpsi) menjadi dasar model Langmuir sebagai berikut:

$$\theta = \frac{\omega}{L} = \frac{bP}{1+bP} \quad \text{atau} \quad bP = \frac{\theta}{1-\theta} \quad (2.4)$$

Parameter b adalah konstanta afinitas atau konstanta Langmuir. Parameter tersebut mengukur seberapa besar kekuatan suatu molekul membentur permukaan adsorben. Persamaan dibawah merupakan hubungan antara parameter b dengan energi panas pada adsorpsi Q :

$$b = b_o \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (2.5)$$

Dimana b yang merupakan fungsi eksponensial tersebut diatas juga merupakan fungsi temperatur.

$$b_o = \frac{\alpha}{k_{d\infty} \sqrt{2\pi MRT}} \quad (2.6)$$

α adalah kemungkinan menempel atau koefisien akomodasi dari adsorpsi, dan $k_{d\infty}$ adalah konstanta laju desorpsi temperatur afinitas.

2.6.1.2 Model BET [21]

Pengembangan model adsorpsi isothermal berikutnya dilakukan oleh Stephan Brunauer, Paul Emmet, dan Edward Teller pada tahun 1938. Mereka membentuk sebuah model isothermal adsorpsi yang memiliki kemungkinan untuk dihitung. Teori mereka dikenal dengan Teori BET, yang diambil dari nama mereka. Adsorpsi isothermal BET termasuk monolayer dan merupakan pengembangan dari model adsorpsi Langmuir.

Beberapa asumsi yang dibuat dalam pengembangan model BET diantaranya adalah:

- a. Permukaan homogen dengan energi adsorpsi yang konstan untuk semua situs.
- b. Adsorpsi yang terjadi terlokalisir; suatu atom atau molekul hanya menempati satu situs adsorben.
- c. Masing-masing situs hanya mengakomodasi satu molekul.
- d. Jumlah layer tertentu.

Ketiga asumsi diatas sama dengan asumsi-asumsi pada model adsorpsi isothermal Langmuir.

Persamaan BET digambarkan sebagai berikut:

$$\frac{P}{v(P_0 - P)} = \frac{1}{v_m c} + \frac{c-1}{v_m c} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.7)$$

Dimana P_0 adalah tekanan uap murni adsorbat, dan nilai c dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$c = \frac{\alpha_1 \beta_2}{\alpha_2 \beta_1} \exp\left(\frac{Q_1 - Q_L}{RT}\right) \cong \exp\left(\frac{Q_1 - Q_L}{RT}\right) \quad (2.8)$$

Dimana tulisan kecil menunjukkan jumlah layer dari suatu permukaan, dan L menunjukkan *liquefaction*. Perbandingan antara kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat monolayer didefinisikan sebagai konstanta c . Sedangkan n menyatakan jumlah mol gas yang teradsorpsi persatuan massa adsorben, n_m menyatakan jumlah mol gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan monolayer. Nilai c dan n_m ditentukan secara eksperimen. Model BET masih berlaku sebagai alat utama untuk mengukur luas permukaan. Menggunakan data eksperimen dalam range $P/P_0 = 0,05$ sampai $0,3$, dimana P_0 adalah tekanan uap murni adsorbat. Persamaan sisi sebelah kiri 2.7 diplot terhadap tekanan relatif, dan slope dan intersep adalah nilai dari v_m dan c .

Model BET jarang digunakan untuk korelasi data adsorpsi, dikarenakan bentuk matematikanya yang kompleks. Selain itu juga model ini tidak dapat digunakan untuk merepresentasikan data adsorpsi dibawah kondisi superkritikal atau pada temperatur kritisnya. Untuk merepresentasikan data adsorpsi dibawah kondisi superkritikal kembali digunakan model Langmuir.

2.6.1.3 Model Teori IAS [21]

Model adsorpsi isothermal *Ideal Adsorbed Solution* (IAS) pertama kali diperkenalkan oleh Myers dan Prausnitz pada tahun 1965. Model adsorpsi IAS merupakan analogi untuk hukum Raoult's Law pada kesetimbangan uap-cair. Kondisi kesetimbangan untuk adsorben dan gas digambarkan sebagai berikut:

$$y_i P = P_{s,i}(\pi) x_i \quad (2.9)$$

$P_{s,i}(\pi)$ adalah hubungan kesetimbangan tekanan fasa gas terhadap temperatur larutan, π adalah tekanan penyebaran larutan, dan adsorpsi komponen murni disimbolkan sebagai i . Tekanan penyebaran digambarkan sebagai perbedaan *surface tension* antara permukaan bersih dengan permukaan yang terlapisi molekul (*monomolecular*) adsorbat (Yang, 2003).

Dalam memperhitungkan adsorpsi gas campuran, persamaan isothermal untuk gas tunggal diperlukan terlebih dahulu. Beberapa model asli adsorpsi isothermal yang digunakan dalam perhitungan IAS adalah persamaan isothermal Langmuir, Valenzuela et al. (1988), juga beberapa system adsorpsi Zhou (1994) dan Hall et al. (1994) menggunakan persamaan 2-D sebagai model.

2.6.1.4 Model *Theory of volume filling of micropores* (TVFM) [23]

Teori ini didasarkan pada percobaan Dubinin pada tahun 1966. Dubinin melakukan percobaan dengan menggunakan adsorben zeolit CaA (5A) dan NaX untuk beberapa adsorbat. Tabel dibawah ini merupakan data percobaan yang dilakukan Dubinin, dimana C_{μ}^* adalah jumlah adsorbat monolayer, dan C_{μ} adalah jumlah adsorben dari percobaan.

Tabel 2.5 Jumlah Adsorbat dan Jumlah Monolayer Teoritis untuk Zeolit CaA dan NaX.

Vapor	T(°C)	CaA (1640 m ² /g)			NaX (1400 m ² /g)		
		C _μ [*] (mmole/g)	C _μ (mmole/g)	C _μ [*] /C _μ	C _μ [*] (mmole/g)	C _μ (mmole/g)	C _μ [*] /C _μ
H ₂ O	20	26.5	15.50	1.71	22.6	17.95	1.26
CO	-196	16.2	8.61	1.88	14.1	9.71	1.45
N ₂	-196	16.8	8.27	2.03	14.4	9.55	1.51
Ar	-196	19.7	8.58	2.30	16.8	10.27	1.64
Benzene	20	-	-	-	7.25	3.3	2.2
n-pentane	20	7.53	2.26	3.33	6.42	2.56	2.51

Dari data tersebut perbandingan jumlah adsorbat untuk kedua adsorben tersebut adalah:

$$\frac{C_{\mu}(CaA)}{C_{\mu}(NaX)} \approx 0.861 \quad (2.10)$$

Sedangkan perbandingan volume keduanya adalah:

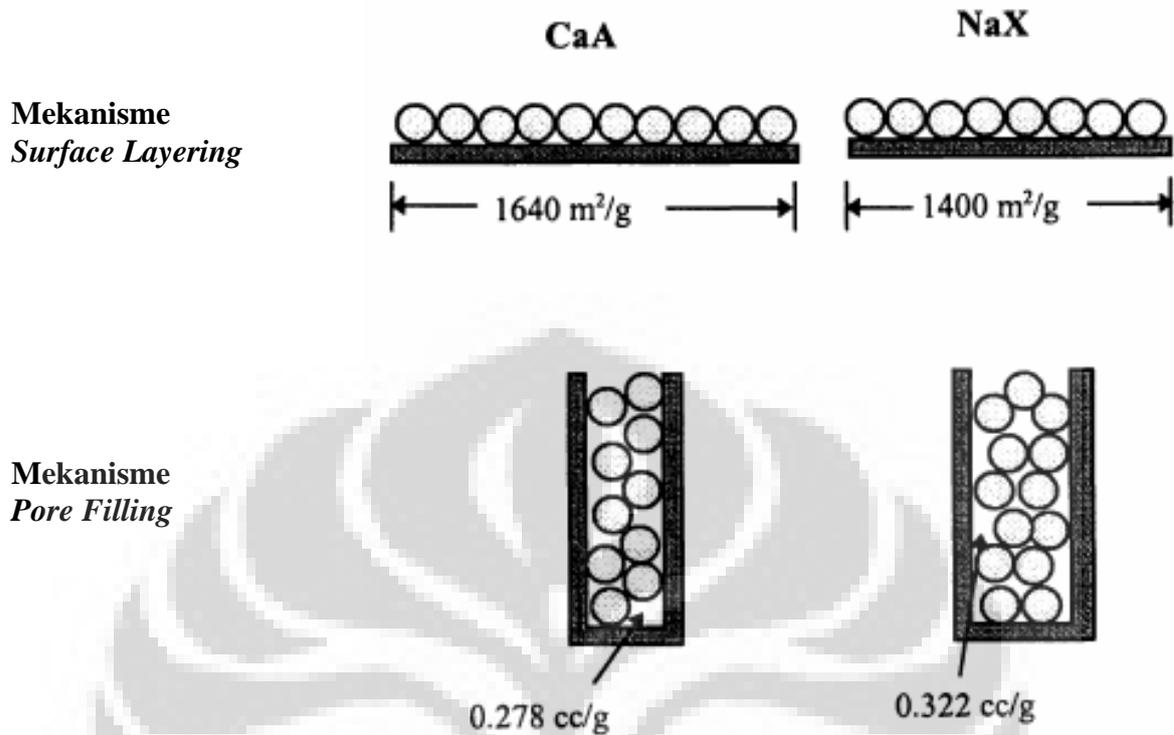
$$\frac{V(CaA)}{V(NaX)} = \frac{0.278cc/g}{0.322cc/g} \approx 0.863 \quad (2.11)$$

Nilai perbandingan tersebut sangat berdekatan dan relatif sama, sedangkan perbandingan surface areanya adalah:

$$\frac{S(CaA)}{S(NaX)} = \frac{1640m^2/g}{1400m^2/g} \approx 1.17 \quad (2.13)$$

Dimana nilai perbandingan tersebut lebih tinggi dari perbandingan adsorbatnya, sehingga ada kemungkinan adsorbat mengisi bagian microporous pada adsorben yang digunakan.

Dubinin mengasumsikan, dalam kondisi *microporous* adsorbat mengisi bagian situs adsorben dengan melalui mekanisme pengisian volume dan tidak hanya membentuk lapisan *monolayer* [21]. *Microporous* merupakan pori dengan ukuran dibawah 2 nm, diatas ukuran tersebut disebut *mesoporous* dengan ukuran 2-50 nm berdasarkan IUPAC, dan diatasnya lagi sering disebut sebagai *supemicroporous* [22]. Proses pengisian pori tersebut dapat digambarkan pada Gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Kemungkinan mekanisme adsorpsi pada CaA dan NaX

Prinsip dasar filling microporous adalah diferensial kerja molar dan temperatur pada proses adsorpsi yang merupakan proses pengisian ruang secara kontinyu, ditunjukkan sebagai berikut:

$$\left(\frac{\delta A}{\delta T}\right)_\theta = 0 \quad (2.14)$$

Di mana θ adalah fraksi volume mikro-pori (*microporous*) yang ditempati oleh adsorbat. Persamaan tersebut di integrasikan menjadi:

$$A = H(\theta) \quad (2.15)$$

Persamaan tersebut diubah menjadi:

$$\theta = H^{-1}(A) \quad (2.16)$$

Persamaan tersebut merupakan teori dasar *filling microporous* yang digunakan oleh Dubinin. Potensial A merupakan unit energi molar, dan dapat digunakan untuk menghitung kebalikannya berupa energi karakteristik, yang kemudian diberi notasi E ,

dan menuliskan kembali persamaan *filling microporous* dalam bentuk lainnya sebagai berikut:

$$\theta = f\left(\frac{A}{E}, n\right) \quad (2.17)$$

Energi karakteristik adalah ukuran kekuatan adsorpsi antara adsorbat dan adsorben. θ merupakan fungsi f fungsi distribusi dalam mengisi mikro-pori, E merupakan energi karakteristik dan n adalah parameter yang berhubungan dengan fungsi distribusi.

Untuk dua adsorbat yang berbeda, mereka menyebutkan potensi adsorpsi persamaan berikut dengan derajat pengisian pori θ yang sama.

$$\left(\frac{A}{E}\right) = \left(\frac{A}{E}\right)_0 \quad (2.18)$$

Jika parameter n adalah sama bagi kedua adsorbat. Maka A dan E merupakan potensi adsorpsi dan energi karakteristik suatu adsorbat, sedangkan A_0 dan E_0 adalah nilai dari suatu adsorbat referensi yang dijadikan acuan. Untuk karbon aktif, adsorbat yang digunakan sebagai acuan/ referensi adalah benzen.

Persamaan 2.18 dapat dituliskan dalam bentuk lain yaitu sebagai berikut:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{A}{A_0} = \beta \quad (2.19)$$

2.6.1.4.1 Model *Dubin-Radushkevich* [23]

Persamaan 2.17 merupakan fungsi distribusi. Dubinin dan rekan sekerjanya memilih bentuk fungsional distribusi Weibull sebagai berikut:

$$f\left(\frac{A}{E}, n\right) = \exp\left[-\left(\frac{A}{E}\right)^n\right] \quad (2.20)$$

Parameter $n = 2$ terlebih dulu disebutkan oleh Dubinin dan Radushkevich (1947), dan menghasilkan persamaan adsorpsi yang baru yang disebut model DR:

$$\theta = \exp\left[-\left(\frac{A}{E}\right)^2\right] \quad (2.21)$$

Dimana kemungkinan/ potensi adsorpsi disebutkan dengan persamaan 2.23, mekanisme adsorpsi *filling microporous* adalah pengisian volume pori, dengan tingkat pengisian sebagai berikut:

$$\theta = \frac{W}{W_0} \quad (2.22)$$

Dimana W adalah volume adsorbat dalam mikro-pori, dan W_0 adalah volume maksimum yang bisa ditempati adsorbat.

Beberapa persamaan empiris yang banyak diaplikasikan dalam kondisi uap super kritis dan sub kritis diantaranya, Freundlich, Sesapan, Toth, Unilan dan Keller et al. Pada bab ini akan dibahas secara singkat mengenai pengembangan persamaan empiris oleh Dubinin dan rekan sekerjanya mengenai uap sub-kritik dalam padatan *microporous*, di mana proses adsorpsi yang terjadi mengikuti mekanisme pengisian pori.

Hobson dan rekan sekerja (1963, 1967, 1969, 1974) dan Earnshaw dan Hobson (1968) menganalisa data argon di perusahaan kaca Corning Corp mengenai kemungkinan-kemungkinan teori Polanyi. Mereka mengusulkan suatu persamaan yang mengenai hubungan banyaknya adsorben dalam volume equivalent cairan (V) terhadap besaran potensi adsorpsi.

$$A = R_g T \ln \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad (2.23)$$

Dimana P_0 adalah tekanan uap. Mereka mengasumsikan fungsi pembentukan V (A) yang tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu. Bentuk persamaan yang dipilih oleh mereka ditampilkan sebagai berikut:

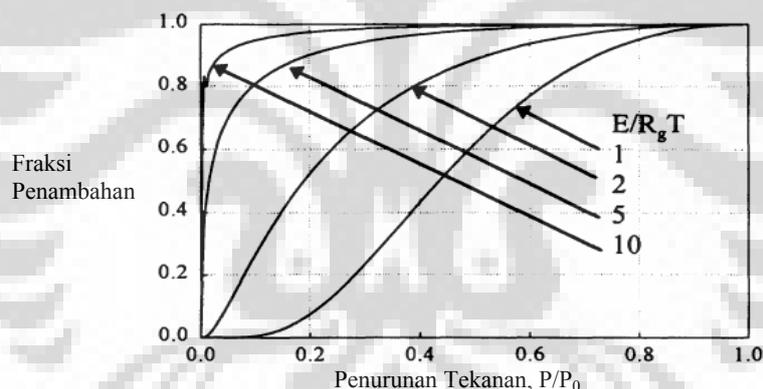
$$\ln V = \ln V_0 - BA^2 \quad (2.24)$$

Dimana logaritma banyaknya adsorben sebanding secara proposional dengan kemungkinan adsorption. Persamaan 2.25 dikenal sebagai model *Dubinin-Radushkevich*

(DR). Secara gamblang persamaan empiris tersebut dipengaruhi oleh tekanan, persamaan tersebut dituliskan sebagai berikut:

$$V = V_0 \exp \left[- \frac{1}{(\beta E_0)^2} \left(R_g T \ln \frac{P}{P_0} \right)^2 \right] \quad (2.25)$$

Dimana E_0 merupakan energi karakteristik yang dijadikan acuan adsorbat. Secara luas benzena sudah dipakai sebagai acuan adsorbat. Tiga parameter adalah suatu konstanta yang hanya merupakan fungsi adsorptif. Parameter-parameter tersebut ditemukan oleh Dubinin dan Timofeev (1946) dimana parameter ini sebanding terhadap molar volume suatu cairan. Dalam Gambar 2.10 berikut digambarkan hubungan antara model DR dengan penurunan tekanan dalam beberapa nilai E/RT .



Gambar 2.10. Kurva hubungan antara model DR terhadap penurunan tekanan

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa pada saat energi karakteristik (E_0) meningkat maka adsorpsi lebih kuat pada saat benda padat mempunyai energi interaksi yang lebih kuat dengan adsorbat. Satu pengamatan dari persamaan tersebut ialah bahwa slope adsorpsi isothermal pada saat awal adalah tidak terbatas, hal tersebut bertentangan dengan hukum termodinamika.

Persamaan 2.26 merupakan model DR dengan jumlah adsorbat dalam (mol/gram):

$$C_{\mu} = C_{\mu s} \exp \left[- \frac{1}{(\beta E_0)^2} \left(R_g T \ln \frac{P}{P_0} \right)^2 \right] \quad (2.26)$$

Dimana kapasitas adsorpsi maksimum adalah:

$$C_{\mu s} = \frac{W_0}{v_M(T)} \quad (2.27)$$

W_0 , adalah volume mikro-pori dan v_M adalah volume molar cairan. Diasumsikan bahwa molekul adsorbat dalam mikro-pori bersifat seperti cairan. Model DR (2.26) biasanya banyak digunakan secara luas untuk menggambarkan proses adsorpsi isothermal uap sub-kritis dalam suatu padatan *microporous* seperti karbon aktif dan zeolit. Suatu hal yang dapat menjadi bahan perdebatan dalam persamaan ini adalah suatu asumsi adsorben yang bersifat seperti cairan, padahal mikro-pori adsorben memiliki gaya interaksi lebih besar dengan molekul adsorbat pada bagian permukaan, sehingga molekul adsorben tersebut bisa dianggap berbentuk antara cairan dan padatan.

Hal yang paling berguna dari model *Dubinin-Radushkevich* (DR) terdapat pada fakta bahwa kemungkinan proses adsorpsi (A) ditentukan untuk suatu nilai temperatur, terlihat pada Persamaan 2.26, bahwa potensi adsorpsi merupakan suatu persamaan logaritma pada temperatur tertentu, seluruh data sebaiknya ada di atas kurva yang sama, yang dikenal sebagai kurva karakteristik. Nilai slope kurva tersebut merupakan kebalikan dari besaran energi karakteristik $E = \beta E_0$.

Untuk menunjukkan kegunaan model DR (2.26), berikut digambarkan dalam percobaan adsorpsi benzen dengan menggunakan carbon aktif dalam tiga temperatur berbeda yaitu: 283, 303, dan 333 K. Data adsorpsi benzen tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Data Adsorpsi Benzen dengan Menggunakan Karbon Aktif

283 K		303 K		333 K	
P (kPa)	C_{μ} (mmole/g)	P (kPa)	C_{μ} (mmole/g)	P (kPa)	C_{μ} (mmole/g)
0,0133	1,6510	0,0001	0,4231	0,0010	0,4231
0,0933	3,2470	0,0002	0,8462	0,0267	0,8450
0,2932	3,8750	0,0133	1,1110	0,0533	1,1090
0,6798	4,2560	0,0267	1,4060	0,0933	1,4030
1,5590	4,5270	0,0666	1,9540	0,2532	1,9460
2,6520	4,6600	0,0933	2,1660	0,3732	2,1520
4,2920	4,8060	0,1599	2,5090	0,6531	2,4870
6,3580	4,9480	0,3466	2,9730	1,3330	2,9290
8,7440	5,0480	0,6931	3,4310	2,6120	3,3470
10,0200	5,0840	1,2800	3,7610	4,3590	3,6260
		2,8260	4,1490	7,6640	3,9380
		3,9320	4,2770	9,4770	4,0370
		6,6380	4,4410	11,5600	4,2340
		8,5570	4,5370		
		10,4100	4,5880		

Tekanan uap dan molar volume cairan benzena ditunjukkan dalam Tabel 2.7 berikut.

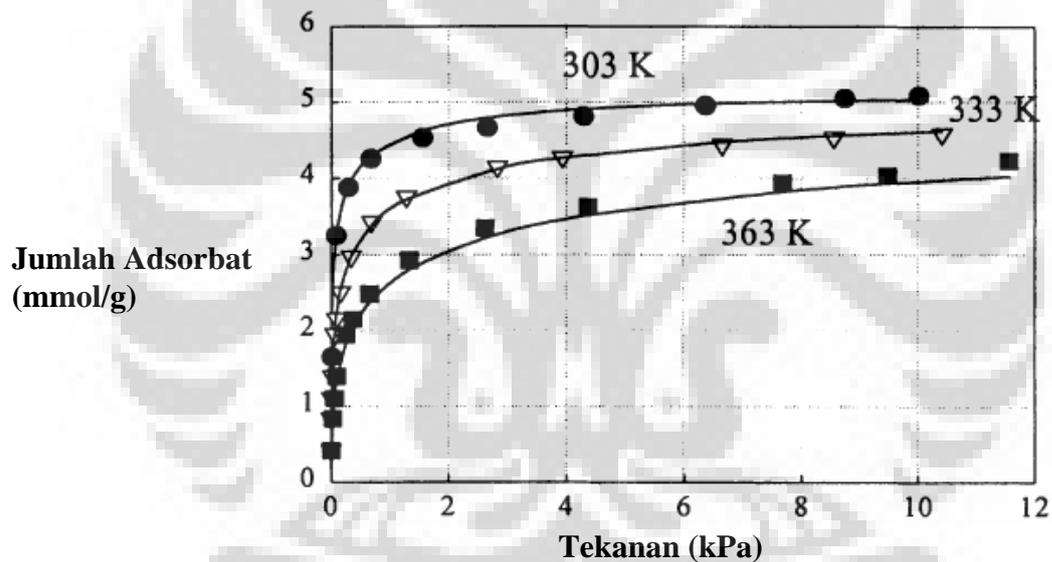
Tabel 2.7. Tekanan Uap dan Molar Volume Cairan Benzen.

T(K)	P_o (kPa)	v_M (cc/mmole)
303	16,3	0,0900
333	52,6	0,0935
363	150	0,0970

Dengan meregresikan data kesetimbangan pada ketiga suhu tersebut diatas (Tabel 2.7), maka didapatkan beberapa variabel lainnya sebagai berikut:

$W_0 = 0.45$ cc/gram, dan $E = 20.000$ Joule/mol

Walaupun hanya satu nilai energi karakteristik yang digunakan untuk ketiga temperatur tersebut, hubungan antara nilai adsorbat dengan tekanan dapat diperlihatkan dengan baik seperti pada Gambar 2.11 berikut. Sehingga dapat disebutkan model DR ini dapat digunakan untuk merepresentasikan data uap sub-kritis dalam suatu padatan *microporous*.



Gambar 2.11 Kurva proses adsorpsi benzen/ karbon aktif dengan menggunakan model DR

Persamaan isotermal untuk komponen murni dijabarkan dalam model Dubinin-Astakhov (DA) sebagai berikut [21]:

$$V = V_s \exp \left\{ - \left(\frac{RT}{E_0} \ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^n \right\} \quad (2.28)$$

V adalah volume adsorpsi, V_s adalah volume jenuh mikro pori yang dihubungkan dengan tekanan jenuh $P_{s,i}$, sedangkan n dan E_0 adalah parameter fitting *temperature-invariant*. Penurunan model DA banyak dilakukan diantaranya untuk variasi parameter n , persamaan-persamaan turunan berikut diantaranya [22]:

- F - Freundlich (DA dengan nilai $n=1$):

$$V = V_s \exp \left\{ - \left(\frac{RT}{E_0} \ln \frac{P_{s,i}}{P} \right) \right\} \quad (2.29)$$

- DR - Dubinin-Radushkevich (DA dengan nilai $n=2$):

$$V = V_s \exp \left\{ - \left(\frac{RT}{E_0} \ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \right\} \quad (2.30)$$

$$\ln \frac{V}{V_s} = - \left(\frac{RT}{E_0} \ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \quad (2.31)$$

Atau,

$$\ln \frac{V}{V_s} = -D \left(\ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \quad (2.32)$$

Dimana,

$$D = \left(\frac{RT}{E_0} \right)^2 \quad (2.33)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

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

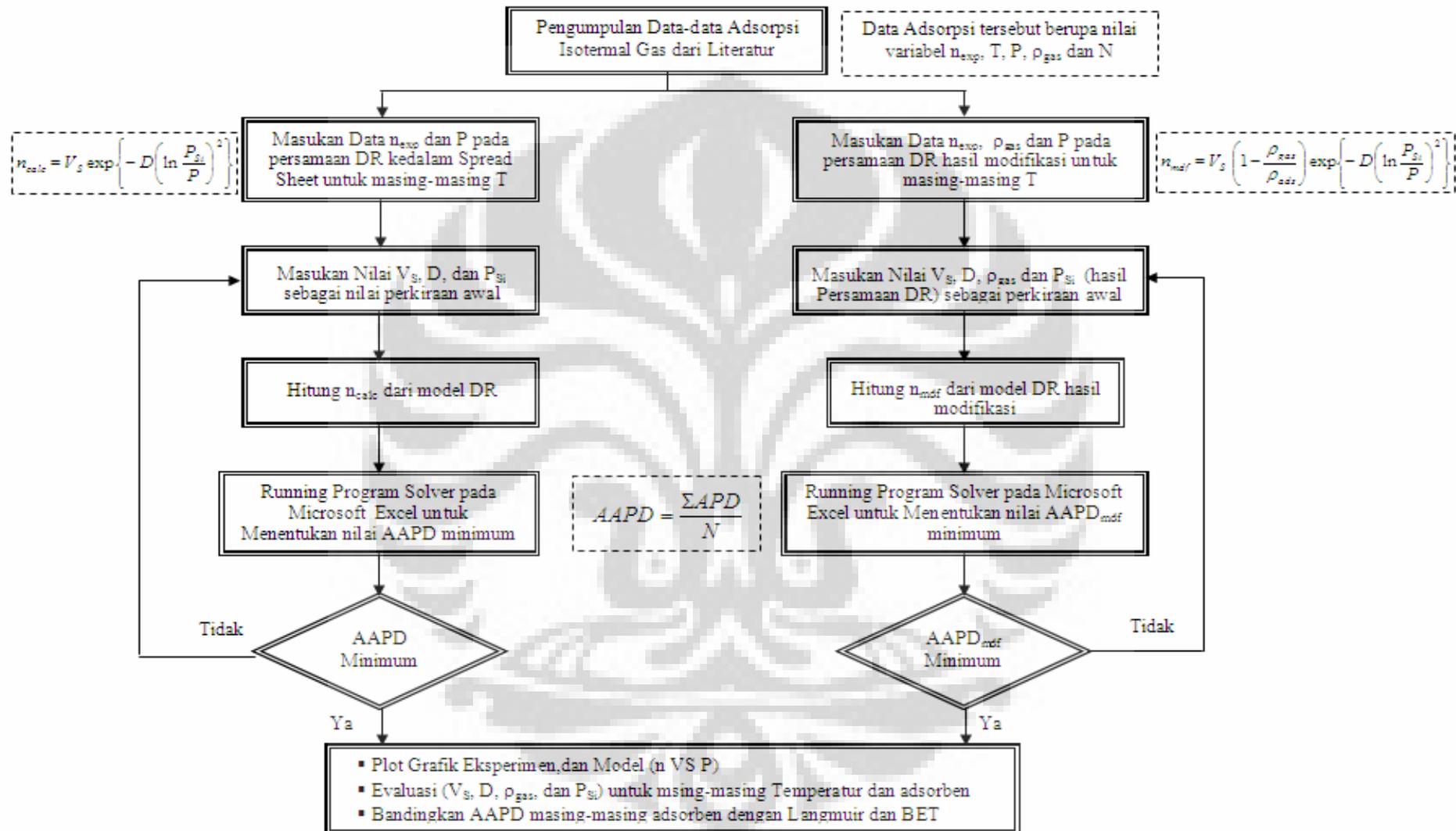
3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, yaitu mengenai skema tahapan penelitian untuk merepresentasikan data adsorpsi gas hasil eksperimen, dimana pada diagram alir tersebut terlihat jelas langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini. Secara garis besar penelitian ini terbagi dua bagian yaitu untuk model DR asli dan DR hasil modifikasi.

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Tahap I : Pengumpulan Data dari Literatur

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data-data percobaan adsorpsi isotermal gas. Data eksperimen tersebut merupakan data yang berasal dari literatur dengan beberapa variasi pada parameternya seperti jenis adsorben dan adsorbat yang digunakan serta kondisi temperatur dan tekanan yang bervariasi. Tabel 3.1 sampai dengan Tabel 3.3 merupakan data-data dari literatur yang akan digunakan dalam penelitian ini. Tabel 3.1 terdiri dari sistem 1 sampai dengan 13 yang merupakan data percobaan adsorpsi isotermal dengan menggunakan adsorben karbon aktif pada temperatur tertentu dan adsorbat yang berbeda. Sedangkan Tabel 3.2 terdiri dari data percobaan adsorpsi isotermal dengan menggunakan adsorben zeolit yang dituliskan sebagai sistem 14 sampai dengan 22. Data adsorpsi dengan menggunakan adsorben batubara ditampilkan pada Tabel 3.3 yang terdiri dari sistem 23 sampai 25, dimana tiap-tiap sistem terdiri dari jenis adsorbat dan temperatur yang berbeda.



Gambar 3.1 Skema tahapan penelitian untuk merepresentasikan data adsorpsi gas.

Tabel 3.1 Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Karbon Aktif

Sistem	Deskripsi		T (F)	Referensi
	Gas	Adsorben		
1	CH ₄	Activated Carbon (F30/470; Chemviron Carbon, Belgium)	85,7	Frere, M.G. dan De Weireld, G.F. (2002)
			121,7	
			157,7	
			191,9	
			229,7	
2	N ₂	Activated Carbon (F30/470; Chemviron Carbon, Belgium)	85,7	Frere, M.G. dan De Weireld, G.F.(2002)
			121,7	
			157,7	
			191,9	
			229,7	
3	CO ₂	Activated Carbon (F30/470; Chemviron Carbon, Belgium)	40,7	Frere, M.G. dan De Weireld, G.F.(2002)
			58,7	
			76,7	
			85,7	
			94,7	
			112,7	
130,7				
4	C ₃ H ₈	Activated Carbon (F30/470; Chemviron Carbon, Belgium)	85,7	Frere, M.G. dan De Weireld, G.F.(2002)
			121,7	
			157,7	
			193,7	
			229,7	
5	CO ₂	(Norit R1; BET)	77	Beutekamp, S. dan Harting.(2002)
6	N ₂	(Norit R1; BET)	77	Beutekamp, S. dan Harting .(2002)
7	C ₃ H ₈	Activated Carbon	68	Payne, H.K., Sturdevant, G.A., dan Leland, T.W. (1968)
			86	
			104	
			122	
			140	
8	CH ₄	Activated Carbon	50	Payne, H.K., Sturdevant, G.A., dan Leland, T.W. (1968)
			68	
			86	
			104	
			122	
9	CH ₄	Activated Carbon (PCB, Calgon Corp.)	73,1	Ritter, J.A dan R.T. Yang (1987)
			211,8	
			404,4	

Tabel 3.1 (sambungan)

Sistem	Deskripsi		T (F)	Referensi
	Gas	Adsorben		
10	CO ₂	Activated Carbon (PCB, Calgon Corp.)	73,1 211,8 404,4	Ritter, J.A dan R.T. Yang (1987)
11	CH ₄	Activated Carbon (Norit RB1)	89,1 100,9 136,6 171,3	Vaart, R. v der; Huiskes, C; Bosch, H. dan Reith, T (2000)
12	CO ₂	Activated Carbon (Norit RB1)	89,6 100,4 133,5 167,2	Vaart, R. v der; Huiskes, C; Bosch, H. dan Reith, T (2000)
13	H ₂	Activated Carbon	-106,6 -22 77	L. Czepirski dan B. Laciak

Tabel 3.2 Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Zeolit

Sistem	Deskripsi		T (F)	Referensi
	Gas	Adsorben		
14	N ₂	Synthetic zeolite (Linde 5A, 1-2 mm; 8 g)	77 122 167	Wakasugi, Y., Ozawa, S. dan Ogino, Y. (1981)
15	C ₂ H ₆	Synthetic zeolite (Linde 5A, 1-2 mm; 8 g)	49,8 85,8	Wakasugi, Y., Ozawa, S. dan Ogino, Y. (1981)
16	N ₂	Synthetic zeolite (Linde 13X, 1-2 mm; 8 g)	77 122 167	Wakasugi, Y., Ozawa, S. dan Ogino, Y. (1981)
17	CH ₄	Synthetic zeolite (Linde 5A, 1-2 mm; 8 g)	77 122 167	Wakasugi, Y., Ozawa, S. dan Ogino, Y. (1981)
18	CH ₄	Adsorption on Zeolite G5	49,8 85,8	Berlier, K; Oliveier, M-G; dan Jadot, R. (1995)
19	C ₂ H ₄	Adsorption on Zeolite G5	49,8 85,8	Berlier, K; Oliveier, M-G; dan Jadot, R. (1995)

Tabel 3.2 (sambungan)

Sistem	Deskripsi		T (F)	Referensi
	Gas	Adsorben		
20	C ₂ H ₆	Adsorption on Zeolite G5	49,8 85,8	Berlier, K; Oliveier, M-G; dan Jadot, R.(1995)
21	C ₃ H ₈	H-Mordenite Molecular sieve zeolite	49,82 86 123,98	Talu, O. and Zwiebel, I.
22	H ₂ S	H-Mordenite Molecular sieve zeolite	50 86 149 203	Talu, O. and Zwiebel, I.

Tabel 3.3 Data Adsorpsi Isotermal Gas dengan Adsorben Batubara

Sistem	Deskripsi		T (F)	Referensi
	Gas	Adsorben		
23	CH ₄	Wet Fruitland Coal	115,1	Arri, L. E.; Yee, D
24	CO ₂	Wet Fruitland Coal	115,3	Arri, L. E.; Yee, D
25	N ₂	Wet Fruitland Coal	114,8	Arri, L. E.; Yee, D

3.2.2. Tahap II : Memasukkan Data Percobaan dari Literatur kedalam Spreadsheet.

Data – data adsorpsi yang didapat dari literatur kemudian dimasukkan ke dalam *Spreadsheet*. Lalu disimpan dengan menggunakan format: nama dokumen.xl

3.2.3. Tahap III : Membuat Model DR untuk Adsorpsi Isotermal gas single dengan Menggunakan Spreadsheet.

Pada tahap ini dilakukan pemasukan model DR ke dalam *Spreadsheet*.

Persamaan/ model DR yang digunakan adalah :

$$\ln \frac{V}{V_s} = -D \left(\ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \quad (3.1)$$

Atau,

$$V = V_s \exp \left\{ -D \left(\ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \right\} \quad (3.2)$$

Dimana $V = n_{calc}$ maka persamaan 3.2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n_{calc} = V_s \exp \left\{ -D \left(\ln \frac{P_{s,i}}{P} \right)^2 \right\} \quad (3.3)$$

3.2.4. Tahap IV : Melakukan Optimasi Parameter – Parameter Yang Ada dalam Model DR.

Data percobaan yang sudah dimasukan kedalam spread sheet kemudian ditentukan nilai adsorbat absolutnya dengan pertama-tama menentukan nilai V_s , D , dan $P_{s,i}$. Nilai konsentrasi adsorbat tersebut ditentukan untuk masing-masing temperatur dan tekanan operasi. Kemudian ditentukan APD (*Absolute Percent Deviation*) masing-masing tekanan dan nilai APD rata-ratanya AAPD.

Jika nilai AAPD tersebut tidak minimum, maka dilakukan optimasi dengan menggunakan solver pada microsoft excel, sehingga akan didapatkan nilai AAPD yang minimum dan dihasilkan nilai dari parameter-parameter V_s , D , dan $P_{s,i}$ yang baru. Pada saat memasukan nilai variable V_s , D , dan $P_{s,i}$ harus tetap memperhatikan batasan-batasan yang ada untuk masing-masing variable tersebut.

Hasil dari optimasi tersebut direpresentasikan dalam bentuk grafik dan dianalisa untuk masing-masing proses adsorpsi dengan berbagai jenis adsorben yang digunakan. Persamaan yang digunakan dalam menentukan nilai APD adalah sebagai berikut:

$$\sum \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{calc}}}{X_{\text{exp}}} \right| \times 100\% = \text{minimum} \quad (3.4)$$

3.2.5. Tahap V : Modifikasi dan Optimasi Model DR.

Untuk mendapatkan nilai AAPD yang lebih akurat dari sebelumnya, maka dilakukan modifikasi model DR. Modifikasi ini dilakukan dikarenakan model tersebut dapat dipengaruhi oleh densitas dari gas yang akan diadsorpsi. Penentuan nilai densitas gas dilakukan dengan menggunakan program aplikasi NIST. Hubungan antara adsorpsi Gibbs dengan adsorpsi absolut dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$n_{\text{Gibbs}} = n_{\text{abs}} \left(1 - \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{ads}}} \right) \quad (3.5)$$

Model DR yang digunakan berikutnya merupakan model hasil modifikasi dengan mensubstitusikan persamaan densitas kedalam model DR sehingga dihasilkan model DR yang baru. Tahap modifikasi model DR dilakukan dengan mensubstitusikan persamaan 3.3 ke persamaan 3.5 menjadi persamaan berikut:

$$n_{\text{Gibbs}} = V_s \left(1 - \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{ads}}} \right) \exp \left\{ -D \left(\ln \frac{P_{\text{Si}}}{P} \right)^2 \right\} \quad (3.6)$$

Atau,

$$n_{\text{mdf}} = V_s \left(1 - \frac{\rho_{\text{gas}}}{\rho_{\text{ads}}} \right) \exp \left\{ -D \left(\ln \frac{P_{\text{Si}}}{P} \right)^2 \right\} \quad (3.7)$$

Dimana, n_{mdf} adalah n hasil modifikasi dengan menambahkan pengaruh ρ_{ads} .

Seperti tahap sebelumnya, dilakukan juga optimasi untuk model DR hasil modifikasi. Proses optimasi dengan menambahkan satu parameter yaitu ρ_{ads} dilakukan dengan menggunakan Solver pada software excel sehingga akan dihasilkan nilai AAPD yang baru dari model DR hasil modifikasi tersebut. Hasil optimasi tersebut direpresentasikan dalam bentuk grafik sehingga memudahkan dalam menganalisanya.

3.2.6. Tahap VI: Menganalisa hasil perhitungan.

Dalam tahap ini dievaluasi beberapa parameter yang terlibat dalam persamaan/ model DR dan hasil modifikasinya. Tahapan evaluasi akan lebih mudah dengan memplot terlebih dahulu hasil perhitungan kedalam bentuk grafik antara n (adsorbat yang teradsorpsi) terhadap kenaikan tekanan untuk masing-masing adsorben pada temperatur tertentu. Kemudian dibuat tabel untuk masing-masing adsorben dan temperatur yang menunjukkan parameter-parameter pada model DR (V_S , P_{Si} , D , AAPD) dan modifikasinya (V_S , P_{Si} , D , AAPD_{mdf}). Dari tabel yang dihasilkan, dapat dievaluasi masing-masing parameter yang terlibat untuk masing-masing adsorben. Khusus untuk nilai AAPD pada model DR dan modifikasinya dibandingkan terhadap nilai AAPD dengan menggunakan persamaan Langmuir dan BET yang dilakukan pada penelitian sebelumnya.

Penelitian ini memiliki kriteria sukses untuk menggunakan model DR yaitu memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dari persamaan Langmuir dan BET yang ditunjukkan dengan nilai AAPD yang lebih kecil dari kedua persamaan tersebut. Begitu juga untuk persamaan/ model DR hasil modifikasinya, nilai AAPD_{mdf} harus lebih rendah dari persamaan modifikasi Langmuir dan BET.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini data percobaan adsorpsi gas pada beberapa jenis adsorben direpresentasikan dengan menggunakan model DR. Data percobaan didapatkan dari berbagai literatur dengan menggunakan beberapa jenis adsorben diantaranya: karbon aktif, zeolit, dan batubara. Berikut ini akan dibahas hasil representasi model DR dan modifikasinya untuk tiap-tiap jenis adsorben serta perbandingannya dengan model lain (Langmuir dan BET).

4.1. Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Karbon Aktif.

Gas yang digunakan dalam proses adsorpsi dengan menggunakan adsorben karbon aktif diantaranya: CH_4 , C_3H_8 , N_2 , CO_2 , dan H_2 . Data AAPD dan beberapa variabel pada model tersebut untuk jenis adsorben karbon aktif dapat dilihat secara detail pada Tabel 4.1. Pada Tabel 4.1 tersebut ditunjukkan masing-masing parameter sebagai hasil pengolahan data adsorpsi isothermal, setiap proses adsorpsi untuk sistem 1 sampai 13.

Pada hasil pengolahan data adsorpsi dengan adsorben karbon aktif, model DR serta modifikasinya dapat merepresentasikan data percobaan dengan baik. Grafik yang dihasilkan dapat mengikuti profil data percobaan, dimana jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan meningkat seiring kenaikan tekanan operasi. Sedangkan data adsorpsi pada temperatur yang lebih tinggi jumlah adsorbat yang teradsorpsinya lebih rendah, hal tersebut dikarenakan adsorpsi bersifat eksotermis. Model DR pada data adsorpsi dengan adsorben karbon aktif menghasilkan nilai AAPD sebesar 1,75%, nilai tersebut cukup rendah sehingga bisa dikatakan model DR dapat merepresentasikan data percobaan dengan baik. Hal tersebut dikarenakan, jika suatu AAPD memiliki nilai yang rendah maka model yang digunakan memiliki tingkat akurasi yang baik.

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _S	P _{Si}	D	AAPD	V _S	P _{Si}	D	ρ _{ads}	AAPDm
1	CH ₄	Karbon Aktif	85,7	5,144	7,079	0,121	0,79	6,131	14,463	0,087	25,762	0,33
			121,7	4,657	8,277	0,124	0,81	5,615	16,088	0,094	24,010	0,36
			157,7	4,137	8,786	0,133	1,22	4,144	9,055	0,130	23,995	1,22
			191,9	3,715	10,807	0,123	1,83	4,449	18,094	0,104	23,916	1,37
			229,7	3,414	13,301	0,125	1,23	4,089	21,553	0,107	24,528	0,79
2	N ₂	Karbon Aktif	85,7	3,458	11,893	0,127	1,13	4,072	17,837	0,112	28,216	0,78
			121,7	3,013	11,607	0,147	0,92	3,553	17,840	0,125	28,970	0,69
			157,7	2,724	14,698	0,143	1,17	3,139	18,548	0,136	27,096	0,92
			193,7	2,452	18,227	0,135	1,11	2,822	22,560	0,130	28,036	0,96
			229,7	2,224	21,422	0,132	1,16	2,614	29,143	0,123	28,892	0,91
3	CO ₂	Karbon Aktif	40,7	9,690	11,786	0,046	1,47	11,494	29,908	0,037	24,061	1,72
			58,7	9,303	11,714	0,052	14,28	11,296	32,019	0,041	24,139	0,95
			76,7	8,863	12,776	0,057	0,40	10,895	33,946	0,045	24,013	0,74
			85,7	8,679	13,001	0,058	0,35	10,661	33,955	0,046	23,971	0,56
			94,7	8,712	16,558	0,056	0,56	10,410	34,946	0,048	24,027	0,67
			112,7	8,664	24,664	0,055	0,57	9,788	35,984	0,052	24,007	0,67
			130,7	7,745	19,865	0,062	0,43	9,209	36,820	0,055	23,994	0,56

Tabel 4.1 (Sambungan)

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _s	P _{Si}	D	AAPD	V _s	P _{Si}	D	ρ _{ads}	AAPDm
4	C ₃ H ₈	Karbon Aktif	85,7	6,302	13,815	0,014	1,24	6,860	32,836	0,013	14,313	1,51
			121,7	5,912	13,870	0,018	0,45	6,709	47,799	0,015	14,046	0,71
			157,7	5,506	14,937	0,018	0,45	6,360	45,901	0,016	14,039	0,34
			193,7	4,937	15,880	0,016	2,16	6,055	48,352	0,018	9,933	0,24
			229,7	4,221	15,905	0,007	7,90	6,223	49,828	0,025	6,543	1,68
5	CO ₂	Karbon Aktif	77	11,527	9,712	0,078	2,18	14,947	24,508	0,062	18,537	0,63
6	N ₂	Karbon Aktif	77	3,200	24,879	0,085	2,63	5,415	104,514	0,064	18,258	2,63
7	C ₃ H ₈	Karbon Aktif	68	6,832	0,974	0,037	4,60	6,973	1,099	0,036	13,752	4,77
			86	6,590	1,666	0,031	2,40	6,433	1,291	0,033	13,718	3,00
			104	6,532	1,820	0,036	1,82	6,772	2,238	0,034	13,689	2,13
			122	6,368	2,251	0,038	1,69	6,512	2,105	0,040	13,601	2,10
			140	5,959	1,955	0,041	1,17	6,193	2,405	0,039	13,770	1,54
8	CH ₄	Karbon Aktif	50	7,158	7,183	0,097	0,88	9,087	24,679	0,060	26,466	0,09
			68	6,707	8,212	0,097	2,49	8,678	25,993	0,065	25,959	0,66
			86	6,407	9,021	0,099	2,17	8,567	30,875	0,065	24,429	0,34
			104	6,222	11,379	0,095	1,42	8,218	30,761	0,073	23,849	0,23
			122	5,958	13,394	0,094	1,04	7,712	30,975	0,076	23,672	0,12

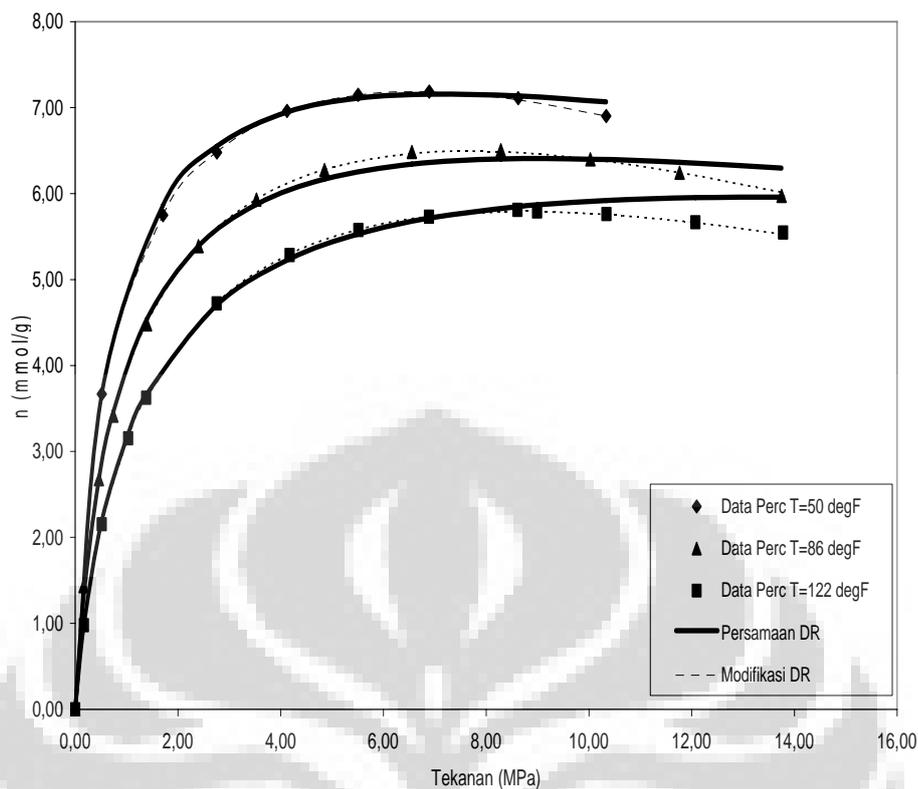
Tabel 4.1 (Sambungan)

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _s	P _{Si}	D	AAPD	V _s	P _{Si}	D	ρ _{ads}	AAPDm
9	CH ₄	Karbon Aktif	73,1	5,703	8,939	0,079	1,61	6,556	12,891	0,079	25,513	0,49
			211,8	4,258	21,530	0,093	1,05	4,928	29,971	0,087	26,009	1,14
			404,4	2,697	22,607	0,159	0,66	3,204	30,933	0,145	25,997	0,72
10	CO ₂	Karbon Aktif	73,1	9,025	5,270	0,081	0,06	10,230	8,328	0,072	22,566	0,33
			211,8	5,363	7,172	0,127	3,39	6,252	11,013	0,115	22,001	3,53
			404,4	2,861	12,867	0,139	4,12	3,513	21,995	0,117	23,021	3,66
11	CH ₄	Karbon Aktif	89,1	6,424	22,240	0,057	0,12	6,630	23,449	0,057	25,712	0,16
			100,9	5,874	23,572	0,064	0,23	6,175	26,545	0,063	25,573	0,28
			136,6	5,604	28,338	0,068	0,59	5,643	26,865	0,070	26,016	0,67
			171,3	5,182	29,898	0,074	0,92	5,279	29,926	0,075	26,033	1,01
12	CO ₂	Karbon Aktif	89,6	8,506	8,014	0,064	0,23	8,728	8,271	0,065	22,278	0,19
			100,4	8,209	12,806	0,065	0,31	8,775	15,594	0,063	22,625	0,28
			133,5	8,149	21,407	0,065	0,22	8,413	22,225	0,065	22,052	0,28
			167,2	7,249	23,774	0,069	0,40	8,164	33,291	0,065	23,024	0,32
13	H ₂	Karbon Aktif	-106,6	9,021	23,068	0,154	2,48	11,152	30,953	0,146	33,107	2,53
			-22	5,976	22,140	0,240	2,43	7,902	32,165	0,212	32,934	2,17
			77	5,139	36,572	0,303	4,35	10,032	74,936	0,246	33,089	2,64
Rata-rata							1,75					1,12

Selain direpresentasikan dengan menggunakan model DR yang asli, data percobaan juga direpresentasikan dengan menggunakan model DR yang dimodifikasi. Modifikasi model DR dilakukan dengan memasukkan unsur densitas gas serta densitas maksimum dari fasa teradsorpsi. Hasilnya, model DR modifikasi menghasilkan nilai AAPD yang lebih baik dari model DR sebelum modifikasi yaitu 1,12%. Modifikasi model DR tersebut dapat menurunkan nilai AAPD rata-rata sampai 35,80%. Penurunan persen AAPD tersebut menunjukkan perbaikan yang cukup baik dalam menaikkan tingkat akurasi dari suatu model.

Selain nilai AAPD untuk semua sistem, pada Tabel 4.1 diatas ditampilkan juga parameter-parameter (V_s , P_{Si} , dan D) yang terdapat pada model DR dan modifikasinya. Harga V_s (jumlah adsorbat jenuh yang teradsorpsi) akan menurun seiring kenaikan temperatur, hal tersebut dikarenakan adsorpsi terjadi secara eksotermis, sehingga adsorbat akan lebih mudah teradsorpsi pada temperatur yang lebih rendah. Hal ini juga akan terlihat dari parameter tekanan jenuh, P_{Si} , yang cenderung meningkat dengan adanya kenaikan temperatur. Pada temperatur yang lebih tinggi adsorbat semakin tidak mudah teradsorpsi, sehingga diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mencapai tingkat kejenuhannya. Nilai D yang dipengaruhi oleh interaksi antara adsorbat dan adsorben juga dipengaruhi oleh temperatur (cenderung naik dengan kenaikan temperatur), namun pada kasus yang ditinjau perbedaan nilai D tidak terlalu signifikan. Besaran nilai D sangat erat hubungannya dengan energi karakteristik dari suatu adsorbat. Hal tersebut juga berlaku pada model DR modifikasi. Berbeda dengan besaran D , densitas adsorpsi ρ_{ads} pada model DR modifikasi hanya dipengaruhi oleh jenis gas sebagai adsorbat.

Profil grafik hasil model DR dan modifikasinya digambarkan pada Gambar 4.1 dibawah ini. Pada gambar tersebut diperlihatkan salah satu contoh sistem adsorpsi gas metana (CH_4) dengan menggunakan adsorben karbon aktif (sistem No 8).



Gambar 4.1 Adsorpsi gas CH_4 dengan adsorben karbon aktif untuk sistem no.8 pada $T= 50\text{ }^\circ\text{F}$, $86\text{ }^\circ\text{F}$, dan $122\text{ }^\circ\text{F}$

Secara umum pada Gambar 4.1 terlihat bahwa persamaan DR dan modifikasinya dapat mengikuti profil data percobaan. Dimana pada grafik tersebut terlihat jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan meningkat seiring kenaikan tekanan operasi, dan berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur. Grafik yang dibentuk oleh model DR dapat mengikuti data percobaan dan setelah melewati tekanan tertentu akan mengalami penurunan namun penurunannya tidak cukup signifikan sehingga pada tekanan yang cukup tinggi, model DR cenderung masih lebih tinggi dibandingkan dengan data percobaan. Berbeda dengan model DR, model hasil modifikasi DR ini dapat mengikuti profil data percobaan dengan baik, bahkan pada tekanan tinggi. Hal ini dikarenakan pada model DR hasil modifikasi dapat mengoreksi ketimpangan yang muncul antara adsorpsi Gibbs dengan adsorpsi absolut. Dimana pada tekanan yang lebih tinggi koreksi ini menjadi sangat penting, bahkan harga adsorpsi gas dapat mencapai nol ketika densitas gas sama dengan densitas molekul yang teradsorpsi.

Perbedaan secara detail antara model DR dan modifikasinya dapat dilihat dari nilai AAPD yang dihasilkan pada sistem no 8 seperti pada Tabel 4.2 berikut. Tabel 4.2 tersebut hanya menampilkan nilai AAPD pada adsorpsi gas metana (CH_4) dengan menggunakan adsorben karbon aktif (sistem No 8) dalam beberapa temperatur operasi.

Tabel 4.2. Data AAPD Sistem No 8 pada $T = 50^\circ\text{F}$, $T = 86^\circ\text{F}$, dan $T=112^\circ\text{F}$

Sistem	Adsorbat	Adsorben	Temp. ($^\circ\text{F}$)	AAPD		Penurunan AAPD (%)
				Model DR	Mdf DR	
8	CH_4	Karbon Aktif	50	0,88	0,09	89,77
			86	2,17	0,34	84,33
			122	1,04	0,12	88,46

Penurunan nilai AAPD setelah memodifikasi model DR adalah cukup signifikan, misalkan pada $T=50^\circ\text{F}$ penurunan AAPD-nya adalah 89,77%, pada $T=86^\circ\text{F}$ adalah 84,33%, dan $T=122^\circ\text{F}$ adalah 88,46%. Tetapi secara keseluruhan penurunan nilai AAPD untuk adsorben karbon aktif adalah sekitar 35,33%. Penurunan nilai AAPD tersebut menunjukkan bahwa densitas adsorpsi cukup berpengaruh terhadap model adsorpsi, sehingga dapat memperbaiki tingkat akurasi model yang digunakan.

4.2. Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Zeolit.

Pada proses adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit, gas yang digunakan adalah: CH_4 , C_3H_8 , N_2 , CO_2 , dan H_2 . Sama halnya dengan adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif, pada adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit ditampilkan beberapa parameter yang terlibat dalam model DR dan modifikasinya pada Tabel 4.3 untuk sistem 14 sampai 22.

Tabel 4.3 Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Zeolit

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _S	P _{Si}	D	AAPD	V _S	P _{Si}	D	ρ _{ads}	AAPDm
14	N ₂	Synthetic zeolite (Linde 5A)	77	2,171	9,118	0,094	1,24	2,644	20,908	0,070	28,391	0,96
			122	1,934	11,512	0,104	1,22	2,470	31,071	0,073	28,000	0,99
			167	1,048	28,981	0,113	8,75	1,555	108,632	0,076	28,393	8,28
15	C ₂ H ₆	Synthetic zeolite (Linde 5A, 1-2 mm; 8 g)	77	2,185	1,000	0,064	2,27	2,259	2,054	0,041	18,267	1,62
			122	2,000	1,200	0,059	2,54	2,103	2,400	0,042	17,980	1,16
			167	1,826	1,771	0,067	1,55	1,963	3,323	0,050	18,054	0,77
16	N ₂	Synthetic zeolite (Linde 13X, 1-2 mm; 8 g)	77	2,152	9,516	0,113	1,28	2,592	18,434	0,090	28,918	1,16
			122	1,910	12,871	0,120	1,50	2,262	20,273	0,104	28,058	1,43
			167	1,779	19,165	0,119	1,66	2,213	34,407	0,100	28,969	1,60
17	CH ₄	Synthetic zeolite (Linde 5A, 1-2 mm; 8 g)	77	2,419	4,784	0,101	0,74	2,749	8,764	0,079	23,810	0,77
			122	2,175	6,708	0,104	0,54	2,518	11,768	0,085	23,131	0,50
			167	1,934	7,584	0,129	0,82	2,247	12,232	0,108	23,068	0,73
18	CH ₄	Adsorption on Zeolite G5	49,8	5,423	30,742	0,063	2,86	9,190	29,863	0,083	24,602	1,00
			85,8	5,989	33,732	0,081	1,16	6,254	35,882	0,080	23,994	1,06
19	C ₂ H ₄	Adsorption on Zeolite G5	49,8	4,026	33,999	0,007	0,17	4,176	32,951	0,008	20,018	0,32
			85,8	3,772	38,009	0,008	0,17	3,877	38,955	0,009	21,006	0,37
20	C ₂ H ₆	Adsorption on Zeolite G5	49,8	3,650	48,995	0,009	0,34	3,749	49,984	0,010	18,020	0,59
			85,8	3,554	50,000	0,012	1,31	3,677	50,958	0,013	17,968	1,16

Tabel 4.3 (sambungan)

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _S	P _{Si}	D	AAPD	V _S	P _{Si}	D	ρ _{ads}	AAPDm
21	C ₃ H ₈	H-Mordenite Molecular sieve zeolite	49,82	1,162	0,159	0,028	5,65	1,167	0,159	0,028	13,329	5,66
			86	1,106	0,133	0,042	8,21	1,149	0,166	0,041	13,226	8,28
			123,98	1,049	0,345	0,037	4,14	1,053	0,354	0,037	13,213	4,18
22	H ₂ S	H-Mordenite Molecular sieve zeolite	50	2,877	0,288	0,022	0,61	2,982	0,389	0,021	27,000	0,61
			86	2,888	0,834	0,021	1,15	2,795	0,642	0,022	27,018	1,18
			149	2,606	0,947	0,030	3,11	2,492	0,652	0,033	27,221	3,14
			203	2,360	1,134	0,038	1,56	2,215	0,760	0,041	27,008	1,89
Rata-rata							2,18					1,98

Tidak berbeda dengan jenis adsorben karbon aktif, proses adsorpsi gas dengan menggunakan adsorben zeolit juga dapat direpresentasikan dengan baik dengan menggunakan model DR. Grafik yang dihasilkan dapat mengikuti profil data percobaan, dimana jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan meningkat seiring kenaikan tekanan operasi dan berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur.

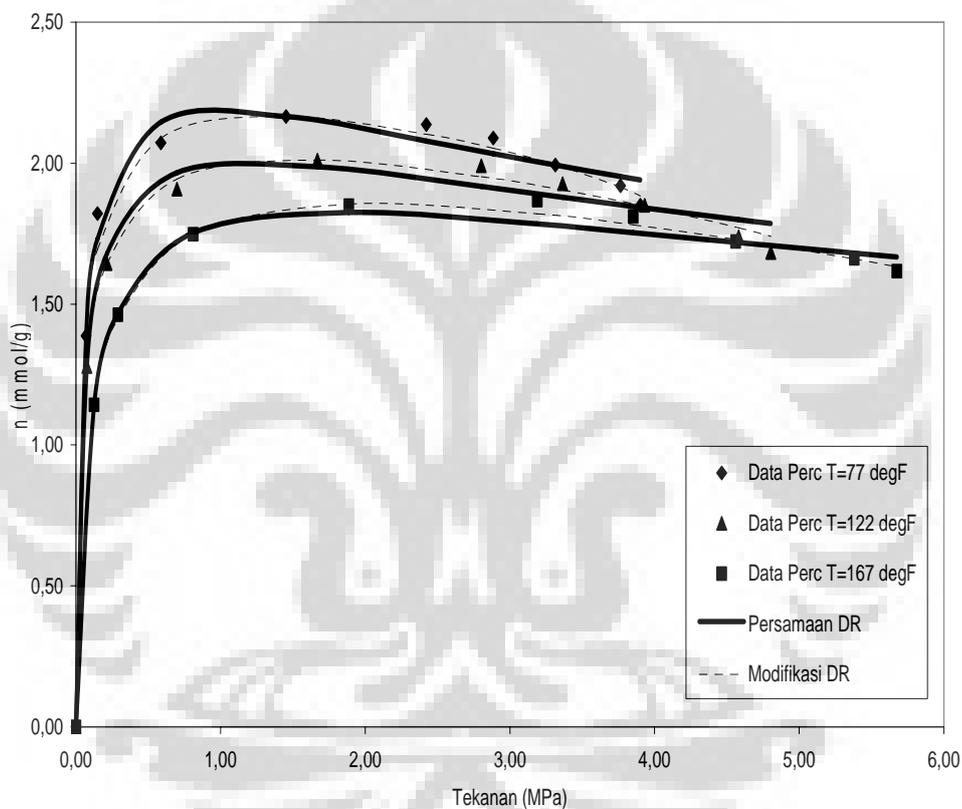
Pada jenis adsorben zeolit, model DR sebelum modifikasi menghasilkan nilai AAPD rata-rata sekitar 2,18%. Nilai tersebut cukup rendah sehingga bisa dikatakan bahwa model DR dapat merepresentasikan data percobaan dengan baik. Sedangkan nilai AAPD rata-rata model DR modifikasi adalah 1,98%. Nilai AAPD dari model DR hasil modifikasi ini lebih kecil jika dibandingkan dengan AAPD sebelum modifikasi. Maka dapat dikatakan bahwa model DR hasil modifikasi memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik dari model DR sebelum modifikasinya. Persen penurunan nilai AAPD model DR secara rata-rata sebesar 9,42%.

Jumlah jenuh gas yang teradsorpsi (V_S) pada dsorben zeolit mengalami penurunan atau berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur, hal tersebut dikarenakan adsorpsi merupakan proses yang bersifat eksotermis, sehingga adsorbat akan lebih mudah teradsorpsi pada temperatur yang lebih rendah. Tetapi pada temperatur yang sama nilai V_S untuk adsorben zeolit lebih rendah jika dibandingkan dengan V_S adsorben karbon aktif. Misalnya pada temperatur 122 °F dengan jenis adsorbat CH_4 , adsorben karbon aktif memiliki nilai V_S sebesar 5,958 mmol/gram sedangkan untuk adsorben zeolit hanya 2,175 mmol/gram. Hal tersebut dikarenakan setiap adsorben memiliki luas permukaan yang berbeda, dan kemungkinan karbon aktif memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit.

Tekanan jenuh (P_{Si}), cenderung meningkat terhadap kenaikan temperatur, pada temperatur yang lebih tinggi adsorbat akan semakin tidak mudah teradsorpsi sehingga diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mencapai tingkat kejenuhannya. D yang merupakan parameter yang sangat dipengaruhi oleh interaksi antara adsorbat dan adsorben juga dipengaruhi oleh temperatur (cenderung naik dengan kenaikan temperatur), namun pada kasus yang ditinjau perbedaan nilai D tidak terlalu signifikan. Profil ketiga parameter tersebut berlaku

untuk kedua model yang digunakan (DR dan modifikasinya). Sedangkan untuk densitas adsorpsi ρ_{ads} pada model DR modifikasi relatif tidak terpengaruhi oleh temperatur operasi, karena densitas adsorpsi ini hanya dipengaruhi oleh jenis adsorbatnya.

Profil dari grafik yang dihasilkan model DR dan modifikasinya dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini. Pada gambar tersebut diperlihatkan salah satu contoh sistem adsorpsi gas C_2H_6 dengan menggunakan adsorben zeolit (sistem No 15) dalam beberapa temperatur yang berbeda.



Gambar 4.2. Adsorpsi gas C_2H_6 dengan adsorben zeolit untuk sistem no.15 pada $T= 77\text{ }^{\circ}\text{F}$, $122\text{ }^{\circ}\text{F}$, dan $167\text{ }^{\circ}\text{F}$

Pada Gambar 4.2 diatas terlihat jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan meningkat seiring kenaikan tekanan operasi. Kenaikan jumlah adsorbat yang teradsorpsi tersebut hanya terjadi sampai batasan tekanan tertentu. Setelah melewati tekanan tersebut jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan menurun. Meskipun data percobaan mengalami profil menurun, grafik yang dihasilkan model DR dan modifikasinya dapat mengikuti profil data percobaan tersebut.

Secara keseluruhan kedua model DR tersebut dapat mengikuti profil data percobaan meskipun pada tekanan tinggi, tetapi penurunan grafik model DR hasil modifikasi cukup signifikan jika dibandingkan model DR sebelum modifikasi. Secara detail perbedaan kedua model tersebut dapat dilihat dari perbandingan AAPD yang dihasilkan oleh keduanya. Perbandingan nilai AAPD untuk model DR dan modifikasinya dapat dilihat juga pada Tabel 4.4 berikut ini. Tabel 4.4 tersebut hanya menampilkan nilai AAPD pada adsorpsi gas C_2H_6 dengan menggunakan adsorben zeolit (sistem No 15) pada beberapa temperatur berbeda.

Tabel 4.4. Data AAPD Sistem No 15 pada $T = 77$ °F, $T=122$ °F, dan $T=167$ °F

Sistem	Adsorbat	Adsorben	Temp. (°F)	AAPD		Penurunan AAPD (%)
				Model DR	Mdf. DR	
15	C_2H_6	Zeolit	77	2,27	1,62	28,63
			122	2,54	1,16	54,33
			167	1,55	0,77	50,32

Secara keseluruhan nilai AAPD untuk jenis adsorben zeolit mengalami penurunan setelah memodifikasi, misalkan pada $T=77$ °F penurunan AAPD-nya adalah 28,63%, pada $T= 122$ °F adalah 54,33%, sedangkan $T=167$ °F mengalami penurunan sebesar 50,32%. Tetapi secara keseluruhan penurunan nilai AAPD rata-rata untuk adsorben zeolit adalah sekitar 9,42%. Penurunan nilai AAPD setelah modifikasi menunjukkan bahwa densitas adsorpsi cukup berpengaruh terhadap model adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit, karena densitas adsorpsi akan memberikan koreksi terhadap penyimpangan yang muncul antara adsorpsi absolut dengan adsorpsi Gibbs, bahkan nilai koreksi ini akan sangat penting terutama pada tekanan tinggi. Dikarenakan koreksi tersebut maka tingkat akurasi yang dihasilkan oleh model hasil mdofikasi model DR lebih baik dari model DR sebelumnya.

4.3. Hasil Representasi Data Percobaan Pada Adsorben Batubara.

Data adsorpsi gas dengan menggunakan adsorben batubara diambil dari berbagai literatur, gas-gas yang digunakan diantaranya: CH₄, CO₂, dan N₂. Data adsorpsi ketiga gas tersebut direpresentasikan dengan menggunakan model DR dan modifikasinya. Berikut ditampilkan beberapa parameter yang terlibat pada model DR dan modifikasinya pada Tabel 4.5 untuk adsorpsi dengan menggunakan adsorben batubara sistem 23 sampai 25. Sama dengan kedua adsorben sebelumnya, model DR dan modifikasinya dapat merepresentasikan data adsorpsi gas dengan menggunakan adsorben batubara. Nilai AAPD yang dihasilkan oleh model DR untuk adsorben batubara adalah 1,37%, sedangkan AAPD rata-rata untuk model DR hasil modifikasi adalah 0,52%. Jika dilihat dari nilai AAPD rata-rata yang dihasilkan kedua model tersebut dapat merepresentasikan data percobaan dengan baik. Bahkan modifikasi model DR dapat memperbaiki akurasi model yang digunakan, terbukti dapat menurunkan nilai AAPD rata-rata untuk adsorben batubara sekitar 62,05%.

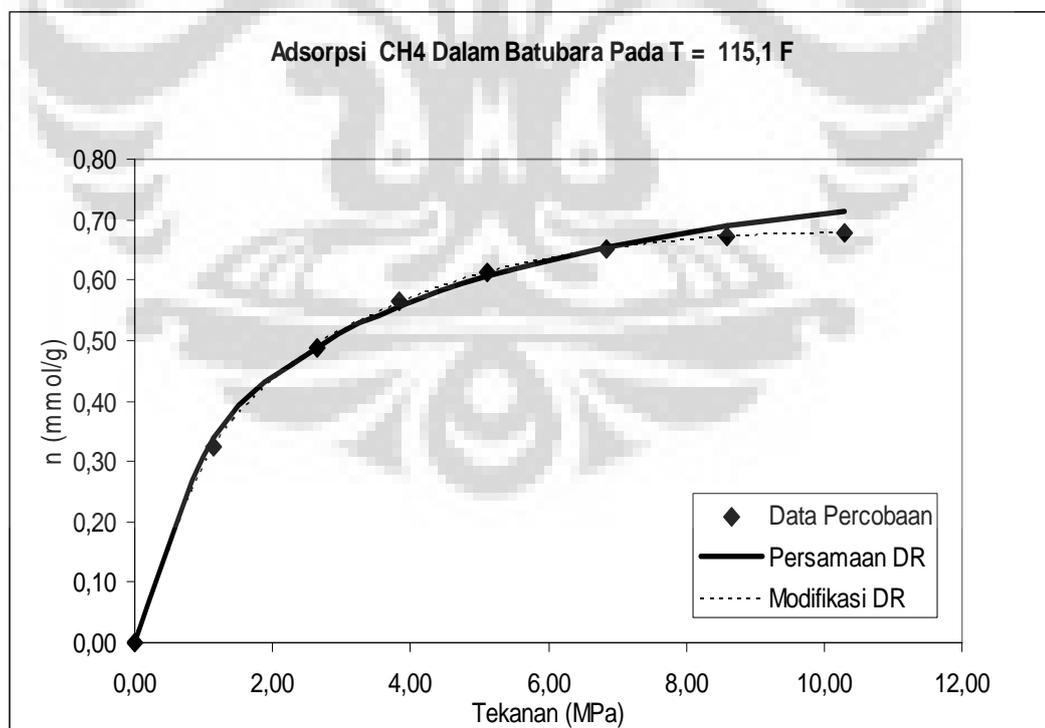
Dari Tabel 4.5 tersebut terlihat juga berbagai profil dari masing-masing parameter yang ada pada model DR dan modifikasinya. Diantaranya jumlah jenuh gas yang teradsorpsi V_S mengalami penurunan dan berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur. Sama dengan kedua adsorben sebelumnya, hal tersebut dikarenakan adsorpsi merupakan proses yang bersifat eksotermis, sehingga adsorbat akan lebih mudah teradsorpsi pada temperatur yang lebih rendah. Jika dibandingkan nilai V_S pada temperatur yang sama (122 °F) dan jenis adsorbat sama (CH₄) antara adsorben karbon aktif, zeolit, dan adsorben batubara, maka adsorben batubara memiliki nilai V_S yang lebih kecil yaitu $\pm 0,8$ mmol/gram. Hal tersebut kemungkinan dikarenakan luas permukaan kontak adsorben batubara lebih kecil jika dibandingkan dengan dua adsorben lainnya, sehingga menghasilkan nilai V_S yang lebih rendah.

Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data pada Adsorpsi Gas dengan Menggunakan Adsorben Batubara

Sistem	Deskripsi		T (F)	Model DR				Model Hasil Modifikasi				
	Gas	Adsorben		V _S	P _{Si}	D	AAPD	V _S	P _{Si}	D	ρ_{ads}	AAPDm
23	CH ₄	Wet Fruitland Coal	115,1	0,803	36,821	0,072	2,24	0,967	43,919	0,081	25,814	0,13
24	CO ₂	Wet Fruitland Coal	115,3	1,246	20,263	0,076	1,51	1,510	27,584	0,081	22,248	0,07
25	N ₂	Wet Fruitland Coal	114,8	0,568	87,957	0,100	0,37	0,758	126,931	0,098	25,733	1,36
	<i>Rata-rata</i>						<i>1,37</i>					<i>0,52</i>

Sedangkan untuk nilai P_{Si} (tekanan jenuh) cenderung meningkat dengan adanya kenaikan temperatur. Dimana pada temperatur yang lebih tinggi, adsorbat semakin tidak mudah teradsorpsi sehingga diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk mencapai tingkat kejenuhannya. Nilai D yang dipengaruhi oleh interaksi adsorbat dan adsorben juga cenderung meningkat terhadap kenaikan temperatur, namun pada kasus yang ditinjau kenaikan nilai D tersebut tidak terlalu signifikan. Selain itu juga nilai D dipengaruhi oleh energi karakteristik dari adsorbat yang akan diadsorpsi. Khusus untuk model DR modifikasi parameter densitas adsorpsi ρ_{ads} relatif konstan dan tidak dipengaruhi oleh temperatur operasi, densitas adsorpsi ini hanya dipengaruhi oleh jenis adsorbatnya saja.

Secara lebih jelas, representasi data percobaan dengan model DR dan modifikasinya dapat dilihat pada salah satu contoh profil grafik yang dihasilkan oleh kedua model DR tersebut. Data adsorpsi yang ditampilkan pada Gambar 4.3 berikut adalah untuk adsorpsi gas metana dengan menggunakan adsorben batubara pada temperatur 115,1 °C (sistem 23).



Gambar 4.3 Adsorpsi CH₄ dalam batubara (sistem 23) pada T=115,1 °F

Pada gambar diatas, grafik yang dihasilkan oleh kedua model mengikuti profil data percobaan. Dimana jumlah adsorbat yang teradsorpsi meningkat seiring kenaikan tekanan operasi. Tetapi model DR hasil modifikasi dapat mengikuti profil data percobaan lebih baik dibandingkan dengan model DR aslinya, bahkan kondisi tersebut berlaku juga pada tekanan yang lebih tinggi. Hal tersebut juga dapat terlihat jelas dari nilai AAPD yang dihasilkan kedua model tersebut. Nilai AAPD model DR sebelum modifikasi pada sistem diatas adalah 2,24% sedangkan untuk model hasil modifikasinya adalah 0,13%. Secara keseluruhan nilai AAPD rata-rata mengalami penurunan setelah modifikasi sebesar 62,05%. Penurunan persen AAPD menunjukkan bahwa densitas adsorpsi cukup berpengaruh terhadap model adsorpsi, karena densitas adsorpsi (ρ_{ads}) memberikan koreksi yang sangat besar terhadap penyimpangan adsorpsi Gibbs dan absolut, karena pada tekanan tinggi densitas gas akan semakin besar bahkan pada saat nilainya sama dengan densitas adsorpsi penyimpangan adsorpsi absolut akan sama dengan adsorpsi Gibbs, atau dengan kata lain pemasukan densitas adsorpsi akan memperbaiki tingkat akurasi yang dihasilkan pada suatu model.

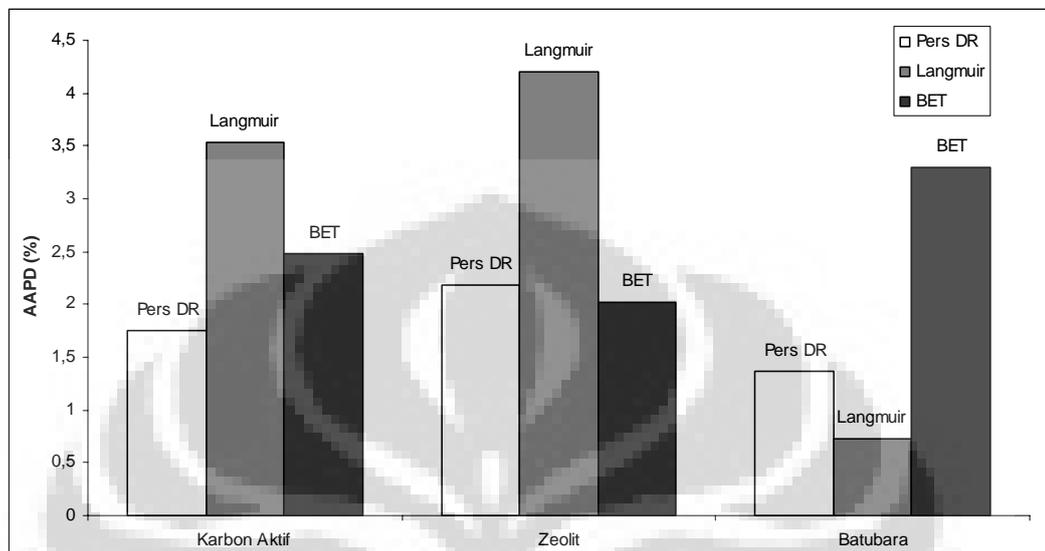
4.4. Perbandingan Persen AAPD Model DR, Langmuir dan BET

Selain membandingkan antara model DR dan modifikasinya, persen AAPD yang dihasilkan juga dibandingkan dengan model-model adsorpsi lainnya yaitu model Langmuir dan BET. Nilai AAPD dengan menggunakan model Langmuir dan BET diambil dari berbagai literatur. Perbandingan nilai AAPD beberapa model adsorpsi dengan menggunakan berbagai jenis adsorben dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Perbandingan AAPD Model DR, Langmuir [2], dan BET [3]

Adsorben	Pers. DR	Langmuir	BET
Karbon Aktif	1,75	3,54	2,48
Zeolit	2,18	4,20	2,02
Batubara	1,37	0,73	3,29
Rata-rata	1,77	2,82	2,60

Berikut kurva perbandingan persen AAPD antar model sebelum modifikasi pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kurva perbandingan AAPD model DR, Langmuir, dan BET

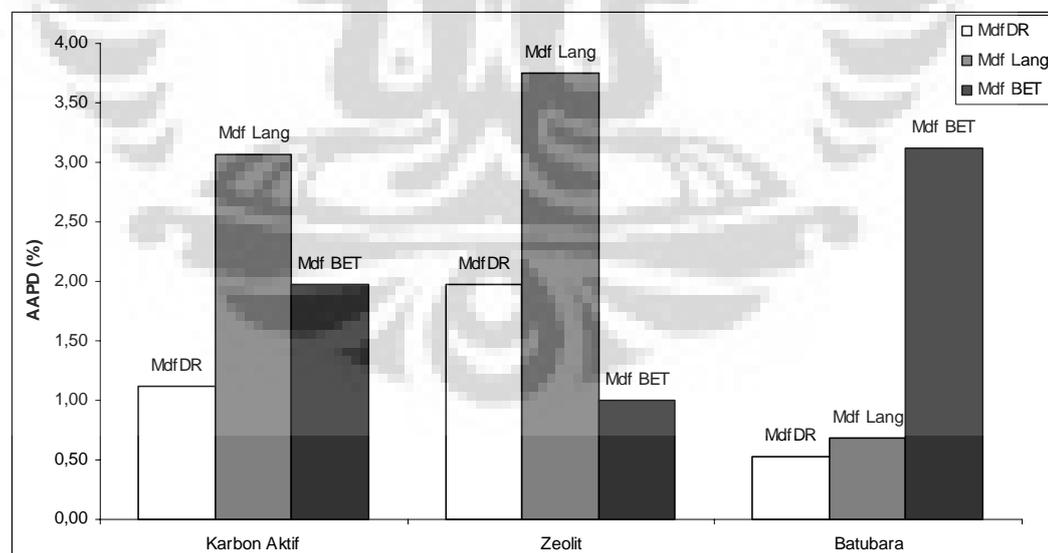
Dilihat dari AAPD rata-rata yang dihasilkan, model DR memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik jika dibandingkan dengan model Langmuir dan BET. Hal tersebut terlihat dari persen AAPD rata-rata model DR yang lebih kecil dibandingkan kedua model lainnya yaitu 1,77%, dan kedua model lainnya diatas nilai tersebut yaitu 2,82% untuk model Langmuir dan 2,60% untuk model BET.. Tetapi jika diperhatikan untuk masing-masing adsorben, kondisi tersebut hanya berlaku pada adsorben karbon aktif dan batubara, sedangkan pada adsorben zeolit nilai AAPD model BET lebih kecil dari model DR dan Langmuir. Hal ini dimungkinkan pada adsorpsi dengan menggunakan zeolit membentuk lapisan jamak (*multilayer*), sehingga model BET dapat merepresentasikan data adsorpsi *multilayer* dengan lebih baik, yang ditunjukkan dengan persen AAPD yang lebih rendah dibandingkan model DR.

4.5. Perbandingan Persen AAPD Modifikasi Model DR, Langmuir dan BET.

Pada sub bab sebelumnya dibandingkan persen AAPD ketiga model sebelum modifikasi. Perbandingan ketiga model adsorpsi juga dilakukan untuk model-model hasil modifikasinya. Data perbandingan AAPD untuk ketiga model hasil modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.5 berikut.

Tabel 4.7. Perbandingan AAPD Model Hasil Modifikasi Model DR, Langmuir [2], dan BET [3]

Adsorben	Modifikasi. Per. DR	Modifikasi Langmuir	Modifikasi BET
Karbon Aktif	1,12	3,06	1,98
Zeolit	1,98	3,76	1,00
Batubara	0,52	0,69	3,12
Rata-rata	1,21	2,50	2,03



Gambar 4.5. Kurva perbandingan AAPD model hasil modifikasi.

Model DR hasil modifikasi memiliki tingkat akurasi yang lebih baik, hal tersebut terlihat dari perbandingan nilai AAPD rata-rata yang dihasilkan untuk ketiga jenis adsorben, dimana modifikasi model DR memiliki nilai AAPD rata-rata yang lebih rendah. Bahkan persen AAPD rata-rata model DR hasil modifikasi (1,21%) lebih rendah dari kedua model hasil modifikasi lainnya yaitu 2,50% untuk model Langmuir dan untuk model BET modifikasi yaitu 2,03%. Sehingga dapat dikatakan model DR hasil modifikasi dapat merepresentasikan data adsorpsi lebih baik dibandingkan kedua model lainnya. Jika dilihat untuk tiap-tiap adsorben model DR modifikasi memiliki nilai AAPD yang rendah hanya pada adsorben karbon aktif dan batubara, tetapi pada adsorben zeolit nilai AAPD yang dihasilkan dari modifikasi model DR masih lebih tinggi dibandingkan dengan model hasil modifikasi BET. Hal tersebut dimungkinkan adsorpsi membentuk lapisan jamak (*multilayer*), sehingga adsorpsi dengan menggunakan adsorben zeolit dapat direpresentasikan dengan baik dengan menggunakan model BET hasil modifikasi.

Model DR modifikasi tetap memiliki nilai AAPD yang lebih rendah jika dibandingkan dengan model BET sebelum modifikasi, sehingga model BET sebelum modifikasi tetap saja tidak dapat merepresentasikan data percobaan adsorpsi isothermal pada tekanan tinggi. Maka dapat disimpulkan bahwa data adsorpsi gas pada tekanan tinggi dapat direpresentasikan dengan baik menggunakan model DR dengan tetap mempertimbangkan pengaruh densitas adsorpsinya.

BAB V

KESIMPULAN

Dari pembahasan pada Bab IV sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Model *Dubin-Radushkevich* (DR) dapat merepresentasikan data percobaan adsorpsi yang cukup baik, namun pada tekanan tinggi memiliki deviasi yang signifikan terhadap data percobaan.
- Model DR hasil modifikasi memiliki tingkat akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan model DR sebelum modifikasi, model DR hasil modifikasi dapat merepresentasikan data percobaan secara keseluruhan bahkan pada tekanan tinggi.
 1. Pada adsorben karbon aktif, AAPD model DR sebesar 1,75% dan model hasil modifikasinya 1,12%.
 2. Pada adsorben zeolit, AAPD model DR sebesar 2,18% sedangkan untuk hasil modifikasinya sebesar 1,98%.
 3. Pada adsorben batubara, AAPD model DR sebesar 1,37% sedangkan untuk model hasil modifikasinya sebesar 0,52%.
- Model DR memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dari model Langmuir dan BET. Hal tersebut terlihat dari persen AAPD yang dihasilkan oleh model DR lebih rendah daripada kedua model lainnya, persen AAPD rata-rata model DR yaitu 1,77% sedangkan model Langmuir 2,82% dan model BET 2,60%.
- Model DR hasil modifikasi memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan kedua model hasil modifikasi lainnya (Langmuir dan BET). Persen AAPD ketiga model hasil modifikasi tersebut yaitu; AAPD modifikasi model DR yaitu 1,21%, modifikasi model Langmuir 2,50% dan modifikasi model BET 2,03%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/adsorption_definition
- [2] Rhomadona, Rizki. (2008). *Evaluasi Persamaan Langmuir Dalam Merepresentasi Data Eksperimen Adsorpsi Gas Pada Tekanan 0-17 MPa*. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- [3] Dermawan, Panji. (2008). *Evaluasi Persamaan BET dan Hasil Modifikasinya Dalam Merepresentasi Data Eksperimen Adsorpsi Gas Pada Tekanan Tinggi*. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- [4] Yang, R. T. (1987). *Gas Separation by Adsorption Processes*, Butterworth's, Boston.
- [5] Sudibandriyo, Mahmud (2003), *An Inter-laboratory Comparison of CO₂ Isotherms Measured on Argonne Premium Coal Samples*. School of Chemical Engineering, Oklahoma State University.
- [6] [http://Meingstein's Weblog.htm](http://Meingstein's%20Weblog.htm)
- [7] [http://Chemisorption and physisorption.htm](http://Chemisorption%20and%20physisorption.htm)
- [8] [http://Types of Adsorption TutorVista.htm](http://Types%20of%20Adsorption%20TutorVista.htm)
- [9] Perry, R.H., and Green, D. (1973). *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 6th ed. New York: McGraw-Hill Book Company.
- [10] [http://KARBON AKTIF - ACTIVATED CARBON COCONUT SHELL.htm](http://KARBON%20AKTIF%20-%20ACTIVATED%20CARBON%20COCONUT%20SHELL.htm)
- [11] [http://en.wikipedia.org/wiki/Activated alumina](http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_alumina)
- [12] Talu, O. and Zwiebel, I. *Multicomponent Adsorption Equilibria of Nonideal Mixtures*, AIChE Journal, Vol. 32, No. 8, 1263-1276
- [13] S.J. Doong and R.T. Yang, *AIChE J.*, 32, 397 (1986)
- [14] L. CZEPIRSKI AND B. LACIAK *University of Mining and Metallurgy, Faculty of Fuels and Energy, al. Mickiewicza 30, 30-059 Cracow, Poland (file 9789812793331_0033)*.
- [15] Peter J F Harris, Zheng Liu and Kazu Suenaga (2008), *Imaging the atomic structure of activated carbon*.
- [16] <http://id.wikipedia.org/wiki/Zeolit>
- [17] www.tasikmalayakab.go.id/content/view/143/30/
- [18] *The Chemical Educator*, Vol. 4, No. 3, S1430-4171(99)03300-2, 10.1007/s00897990300a, © 1999 Springer-Verlag New York, Inc. (<http://chemeducator.org/sbibs/s0004003/spapers/430114wv.htm>)
- [19] <http://www.allproducts.com/manufacture100/naikechemical/product4.html>
- [20] http://wikipremed.com/image.php?img=040405_68zzzz293650_SilicaGel_68.jpg&image_id=293650
- [21] Sudibandriyo, Mahmud (2002). *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.
- [22] [AWM's Adsorption page - micropores - Dubinin-Radushkevich and Dubinin-Astakhov.mht](http://AWM's%20Adsorption%20page%20-%20micropores%20-%20Dubinin-Radushkevich%20and%20Dubinin-Astakhov.mht)
- [23] Duong D.Do (1998), *Adsorption Analysis: Equilibria And Kinetics*, Imperial College Press – London

Lampiran A

Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Karbon Aktif

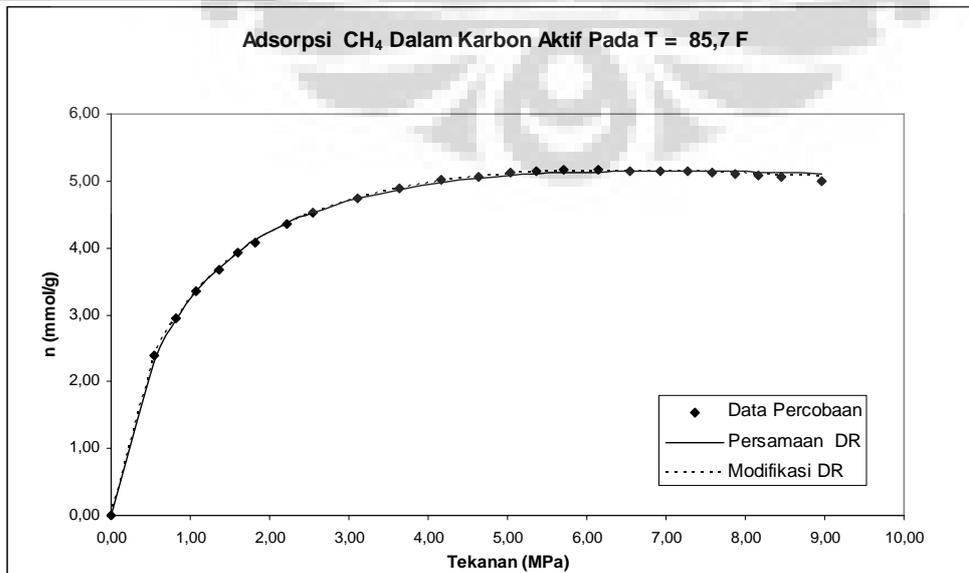
Lampiran A.1.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=85,7 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,144186105	6,1309451
P _{Si}	7,078708703	14,463455
D	0,120806864	0,0869619
r _{ads}	0	25,762437

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,7	29,8	0,540	0,216	2,400	2,312	2,375	3,69	1,05
85,7	29,8	0,810	0,326	2,950	2,916	2,939	1,16	0,36
85,7	29,8	1,080	0,436	3,356	3,356	3,356	0,00	0,00
85,7	29,8	1,360	0,552	3,681	3,703	3,690	0,59	0,24
85,7	29,8	1,600	0,652	3,919	3,938	3,920	0,50	0,04
85,7	29,8	1,820	0,744	4,088	4,116	4,098	0,71	0,25
85,7	29,8	2,220	0,914	4,350	4,373	4,357	0,53	0,16
85,7	29,8	2,550	1,055	4,519	4,535	4,525	0,37	0,14
85,7	29,8	3,100	1,294	4,738	4,737	4,737	0,00	0,00
85,7	29,8	3,630	1,529	4,894	4,874	4,884	0,40	0,20
85,7	29,8	4,170	1,772	5,019	4,973	4,991	0,91	0,56
85,7	29,8	4,640	1,987	5,069	5,035	5,057	0,68	0,24
85,7	29,8	5,030	2,167	5,119	5,072	5,096	0,91	0,44
85,7	29,8	5,370	2,326	5,138	5,097	5,121	0,79	0,32
85,7	29,8	5,710	2,487	5,169	5,116	5,138	1,03	0,59
85,7	29,8	6,140	2,692	5,163	5,132	5,151	0,60	0,23
85,7	29,8	6,550	2,889	5,156	5,140	5,154	0,31	0,04
85,7	29,8	6,920	3,069	5,150	5,144	5,151	0,12	0,02
85,7	29,8	7,270	3,241	5,144	5,144	5,144	0,00	0,00
85,7	29,8	7,590	3,399	5,125	5,141	5,133	0,32	0,16
85,7	29,8	7,870	3,538	5,106	5,137	5,121	0,61	0,30
85,7	29,8	8,170	3,688	5,075	5,131	5,106	1,11	0,62
85,7	29,8	8,460	3,833	5,056	5,124	5,090	1,35	0,67
85,7	29,8	8,970	4,091	4,994	5,109	5,056	2,32	1,25

AAPD	0,79
AAPDm	0,33



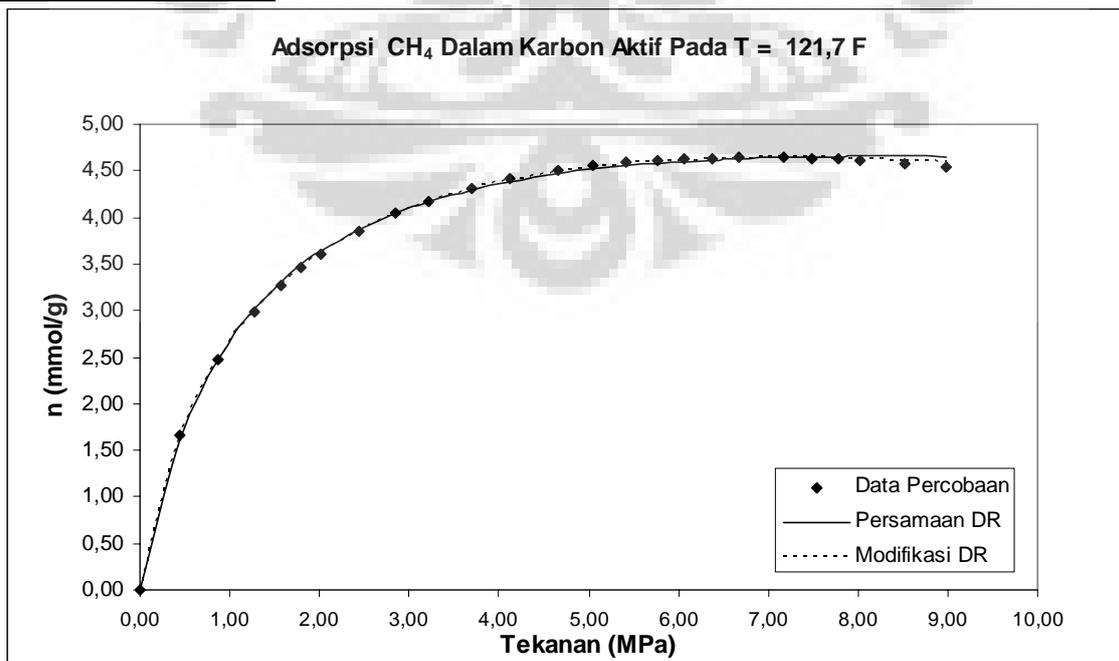
Lampiran A.1.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=121,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	4,657185487	5,6145605
P _{Si}	8,27676875	16,087726
D	0,123796926	0,0942004
r _{ads}	0	24,010011

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
121,7	49,8	0,440	0,165	1,663	1,604	1,646	3,53	1,00
121,7	49,8	0,860	0,324	2,469	2,469	2,469	0,00	0,00
121,7	49,8	1,270	0,480	2,988	3,015	2,998	0,91	0,34
121,7	49,8	1,570	0,596	3,275	3,308	3,288	1,00	0,38
121,7	49,8	1,800	0,686	3,456	3,491	3,471	1,01	0,43
121,7	49,8	2,020	0,771	3,613	3,641	3,622	0,78	0,27
121,7	49,8	2,440	0,937	3,850	3,872	3,859	0,57	0,24
121,7	49,8	2,850	1,100	4,038	4,046	4,040	0,21	0,07
121,7	49,8	3,210	1,244	4,163	4,168	4,168	0,12	0,13
121,7	49,8	3,700	1,443	4,306	4,298	4,306	0,19	0,02
121,7	49,8	4,130	1,619	4,413	4,387	4,399	0,58	0,31
121,7	49,8	4,650	1,834	4,506	4,469	4,485	0,82	0,47
121,7	49,8	5,040	1,997	4,556	4,517	4,534	0,85	0,49
121,7	49,8	5,410	2,153	4,588	4,554	4,570	0,73	0,38
121,7	49,8	5,770	2,306	4,619	4,583	4,597	0,78	0,48
121,7	49,8	6,070	2,434	4,625	4,602	4,613	0,50	0,25
121,7	49,8	6,370	2,563	4,631	4,618	4,626	0,29	0,12
121,7	49,8	6,670	2,692	4,650	4,630	4,634	0,42	0,34
121,7	49,8	7,170	2,909	4,644	4,645	4,640	0,03	0,08
121,7	49,8	7,490	3,049	4,638	4,651	4,639	0,30	0,03
121,7	49,8	7,780	3,176	4,625	4,655	4,636	0,65	0,23
121,7	49,8	8,030	3,285	4,606	4,657	4,631	1,09	0,53
121,7	49,8	8,530	3,507	4,581	4,657	4,616	1,65	0,76
121,7	49,8	8,980	3,707	4,538	4,653	4,598	2,55	1,34

AAPD	0,81
AAPDm	0,36



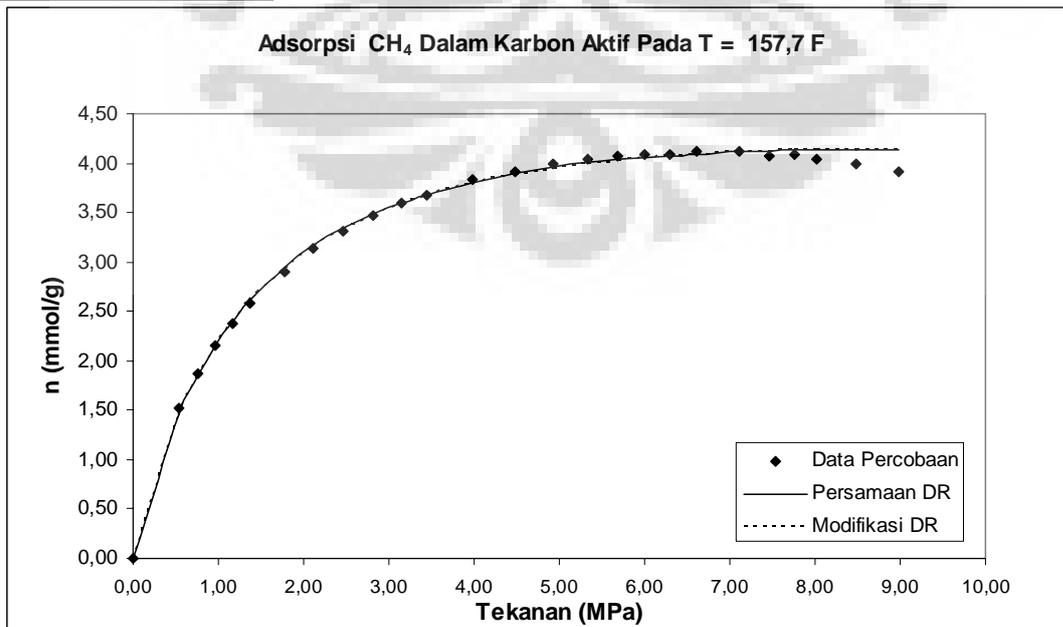
Lampiran A.1.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=157,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	4,136730607	4,1438132
P _{Si}	8,785801744	9,0546321
D	0,132922513	0,1297115
r _{ads}	0	23,994923

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
157,7	69,8	0,530	0,000	1,525	1,450	1,458	4,89	4,42
157,7	69,8	0,750	0,000	1,875	1,850	1,853	1,35	1,18
157,7	69,8	0,960	0,000	2,156	2,156	2,156	0,00	0,00
157,7	69,8	1,160	0,000	2,381	2,399	2,396	0,74	0,63
157,7	69,8	1,370	0,000	2,588	2,614	2,609	1,02	0,83
157,7	69,8	1,770	0,001	2,906	2,941	2,933	1,19	0,92
157,7	69,8	2,120	0,001	3,131	3,162	3,152	0,98	0,68
157,7	69,8	2,470	0,001	3,313	3,340	3,329	0,82	0,50
157,7	69,8	2,810	0,001	3,463	3,480	3,469	0,52	0,20
157,7	69,8	3,140	0,001	3,594	3,594	3,583	0,00	0,31
157,7	69,8	3,440	0,001	3,681	3,680	3,670	0,02	0,32
157,7	69,8	3,990	0,001	3,831	3,808	3,798	0,61	0,87
157,7	69,8	4,480	0,002	3,919	3,895	3,886	0,61	0,84
157,7	69,8	4,930	0,002	3,994	3,957	3,950	0,92	1,11
157,7	69,8	5,330	0,002	4,038	4,002	3,995	0,89	1,05
157,7	69,8	5,680	0,002	4,069	4,033	4,028	0,87	1,00
157,7	69,8	6,000	0,002	4,081	4,058	4,053	0,58	0,68
157,7	69,8	6,290	0,002	4,081	4,076	4,073	0,13	0,21
157,7	69,8	6,620	0,002	4,113	4,093	4,091	0,48	0,52
157,7	69,8	7,120	0,003	4,113	4,112	4,112	0,00	0,00
157,7	69,8	7,470	0,003	4,075	4,122	4,123	1,16	1,19
157,7	69,8	7,750	0,003	4,081	4,128	4,130	1,15	1,20
157,7	69,8	8,020	0,003	4,044	4,132	4,135	2,19	2,27
157,7	69,8	8,490	0,003	4,000	4,136	4,141	3,40	3,53
157,7	69,8	8,980	0,003	3,906	4,136	4,143	5,89	6,07

AAPD	1,22
AAPDm	1,22



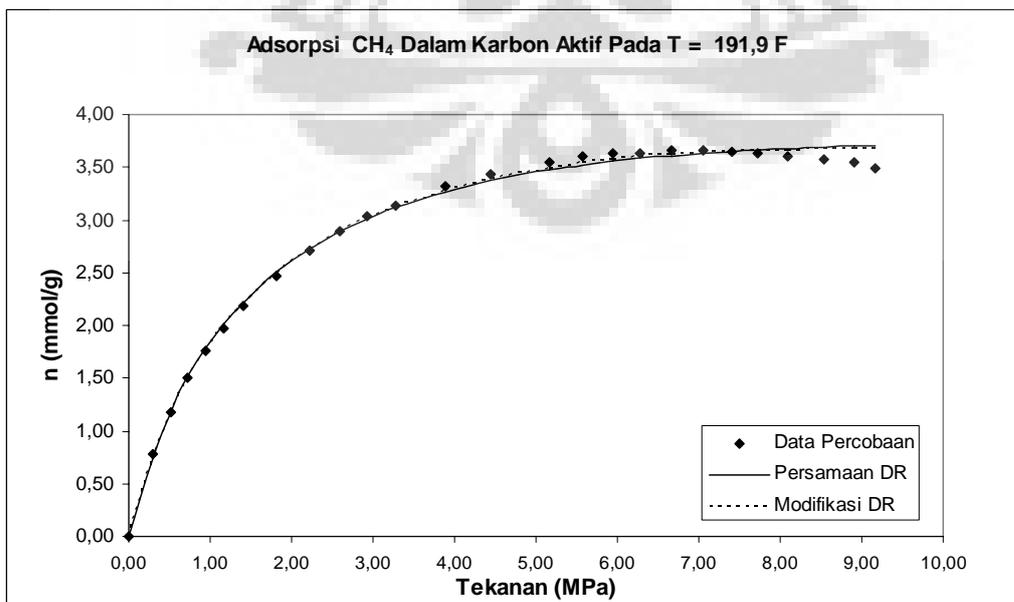
Lampiran A.1.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=191,9 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,715167232	4,4493406
P _{Si}	10,80661199	18,093574
D	0,123404002	0,1044069
r _{ads}	0	23,916106

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
191,9	88,8	0,290	0,097	0,775	0,739	0,744	4,69	3,94
191,9	88,8	0,510	0,170	1,181	1,176	1,169	0,47	1,07
191,9	88,8	0,730	0,244	1,500	1,516	1,502	1,08	0,10
191,9	88,8	0,950	0,318	1,756	1,791	1,773	1,99	0,96
191,9	88,8	1,170	0,392	1,975	2,019	2,000	2,22	1,27
191,9	88,8	1,400	0,470	2,181	2,219	2,202	1,73	0,93
191,9	88,8	1,810	0,610	2,463	2,505	2,493	1,74	1,25
191,9	88,8	2,220	0,750	2,706	2,727	2,722	0,78	0,58
191,9	88,8	2,590	0,877	2,888	2,888	2,889	0,02	0,05
191,9	88,8	2,930	0,995	3,031	3,011	3,017	0,67	0,47
191,9	88,8	3,270	1,113	3,138	3,115	3,125	0,73	0,39
191,9	88,8	3,890	1,330	3,313	3,266	3,283	1,40	0,88
191,9	88,8	4,440	1,523	3,431	3,370	3,390	1,80	1,20
191,9	88,8	5,160	1,779	3,550	3,473	3,494	2,17	1,57
191,9	88,8	5,580	1,929	3,606	3,520	3,540	2,39	1,83
191,9	88,8	5,950	2,061	3,625	3,555	3,573	1,92	1,43
191,9	88,8	6,270	2,176	3,631	3,582	3,597	1,36	0,94
191,9	88,8	6,660	2,316	3,663	3,609	3,620	1,45	1,15
191,9	88,8	7,050	2,457	3,663	3,632	3,639	0,82	0,65
191,9	88,8	7,400	2,584	3,650	3,650	3,651	0,00	0,02
191,9	88,8	7,730	2,704	3,631	3,664	3,659	0,90	0,77
191,9	88,8	8,090	2,835	3,606	3,677	3,665	1,96	1,64
191,9	88,8	8,530	2,996	3,575	3,690	3,669	3,21	2,63
191,9	88,8	8,900	3,131	3,550	3,698	3,669	4,17	3,35
191,9	88,8	9,160	3,225	3,488	3,703	3,667	6,17	5,16

AAPD	1,83
AAPDm	1,37



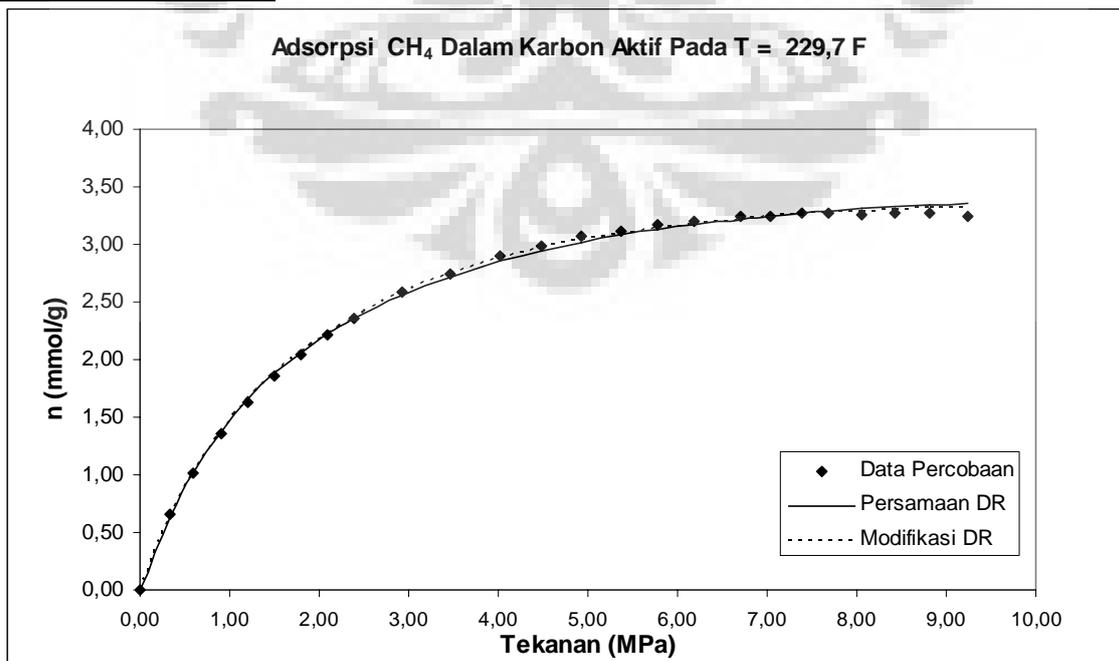
Lampiran A.1.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, pada T=229,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,413881205	4,0893257
P _{Si}	13,30054446	21,553454
D	0,125224977	0,1072346
r _{ads}	0	24,527592

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
229,7	109,8	0,340	0,107	0,656	0,634	0,643	3,39	2,08
229,7	109,8	0,590	0,186	1,013	1,012	1,012	0,00	0,00
229,7	109,8	0,900	0,284	1,356	1,377	1,370	1,50	1,05
229,7	109,8	1,200	0,318	1,631	1,654	1,650	1,40	1,15
229,7	109,8	1,500	0,379	1,856	1,880	1,880	1,30	1,27
229,7	109,8	1,790	0,475	2,044	2,063	2,064	0,94	1,01
229,7	109,8	2,090	0,568	2,213	2,223	2,228	0,49	0,70
229,7	109,8	2,380	0,664	2,356	2,356	2,364	0,00	0,32
229,7	109,8	2,920	0,757	2,581	2,560	2,582	0,83	0,03
229,7	109,8	3,460	0,932	2,750	2,720	2,748	1,07	0,08
229,7	109,8	4,010	1,107	2,900	2,851	2,883	1,67	0,58
229,7	109,8	4,490	1,287	2,981	2,945	2,976	1,21	0,17
229,7	109,8	4,930	1,444	3,069	3,018	3,048	1,66	0,69
229,7	109,8	5,370	1,734	3,119	3,080	3,089	1,25	0,94
229,7	109,8	5,770	1,866	3,175	3,128	3,136	1,47	1,22
229,7	109,8	6,190	2,006	3,200	3,173	3,178	0,85	0,70
229,7	109,8	6,700	2,175	3,244	3,219	3,219	0,77	0,76
229,7	109,8	7,040	2,289	3,250	3,245	3,242	0,15	0,25
229,7	109,8	7,380	2,402	3,269	3,269	3,261	0,00	0,23
229,7	109,8	7,690	2,506	3,269	3,288	3,276	0,59	0,23
229,7	109,8	8,060	2,629	3,263	3,308	3,291	1,40	0,88
229,7	109,8	8,420	2,750	3,269	3,326	3,303	1,74	1,04
229,7	109,8	8,820	2,884	3,269	3,342	3,312	2,26	1,34
229,7	109,8	9,240	3,025	3,244	3,358	3,320	3,51	2,34

AAPD	1,23
AAPDm	0,79



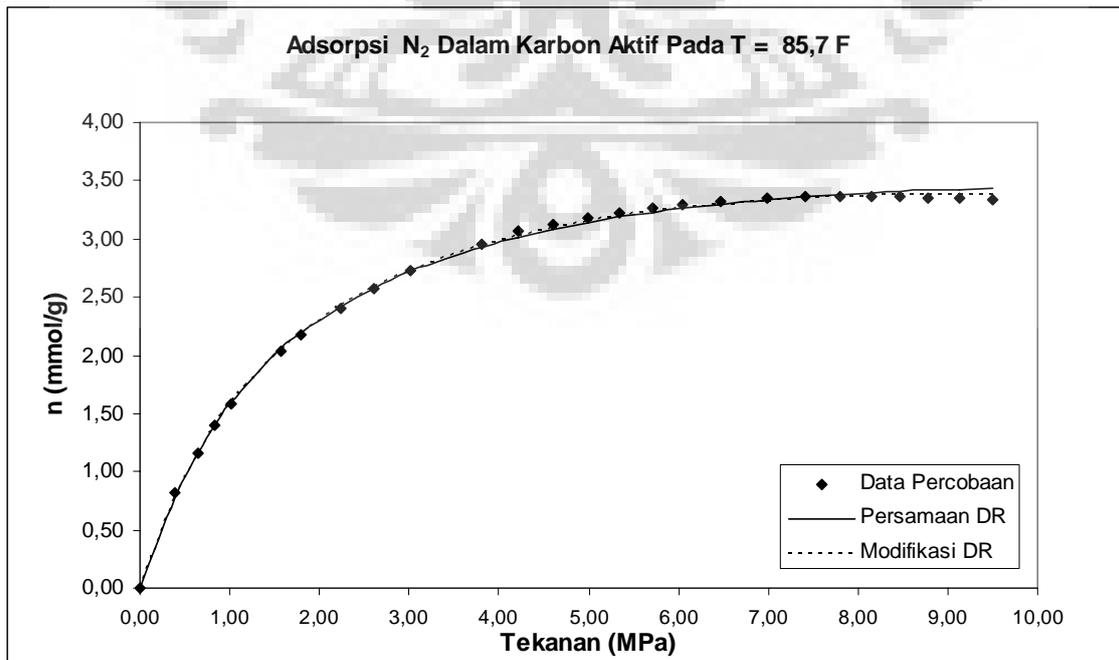
Lampiran A.2.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 85,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,457856283	4,0719857
P _{Si}	11,89273027	17,837469
D	0,127474912	0,1124772
Γ _{ads}	0	28,216085

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,7	29,8	0,390	0,155	0,818	0,780	0,783	4,60	4,32
85,7	29,8	0,640	0,254	1,164	1,164	1,161	0,00	0,25
85,7	29,8	0,830	0,330	1,396	1,401	1,396	0,32	0,00
85,7	29,8	1,020	0,405	1,589	1,603	1,598	0,84	0,54
85,7	29,8	1,580	0,629	2,036	2,057	2,056	1,05	1,00
85,7	29,8	1,800	0,716	2,175	2,195	2,196	0,92	0,98
85,7	29,8	2,240	0,891	2,407	2,424	2,430	0,70	0,94
85,7	29,8	2,600	1,035	2,571	2,575	2,585	0,15	0,52
85,7	29,8	3,020	1,202	2,721	2,721	2,734	0,00	0,47
85,7	29,8	3,800	1,513	2,961	2,929	2,945	1,07	0,53
85,7	29,8	4,220	1,680	3,061	3,016	3,031	1,47	0,96
85,7	29,8	4,610	1,835	3,129	3,084	3,099	1,43	0,96
85,7	29,8	4,990	1,985	3,179	3,141	3,154	1,19	0,78
85,7	29,8	5,350	2,128	3,229	3,188	3,198	1,27	0,94
85,7	29,8	5,710	2,271	3,268	3,229	3,236	1,20	0,98
85,7	29,8	6,050	2,405	3,293	3,262	3,266	0,93	0,82
85,7	29,8	6,470	2,571	3,318	3,298	3,297	0,59	0,64
85,7	29,8	6,980	2,771	3,343	3,335	3,326	0,24	0,51
85,7	29,8	7,410	2,939	3,361	3,361	3,345	0,00	0,48
85,7	29,8	7,800	3,092	3,357	3,380	3,357	0,69	0,00
85,7	29,8	8,160	3,232	3,364	3,396	3,366	0,94	0,05
85,7	29,8	8,470	3,353	3,361	3,407	3,371	1,39	0,31
85,7	29,8	8,780	3,473	3,354	3,418	3,375	1,91	0,63
85,7	29,8	9,140	3,612	3,350	3,427	3,377	2,31	0,79
85,7	29,8	9,500	3,750	3,336	3,436	3,377	3,00	1,23

AAPD	1,13
AAPDm	0,78



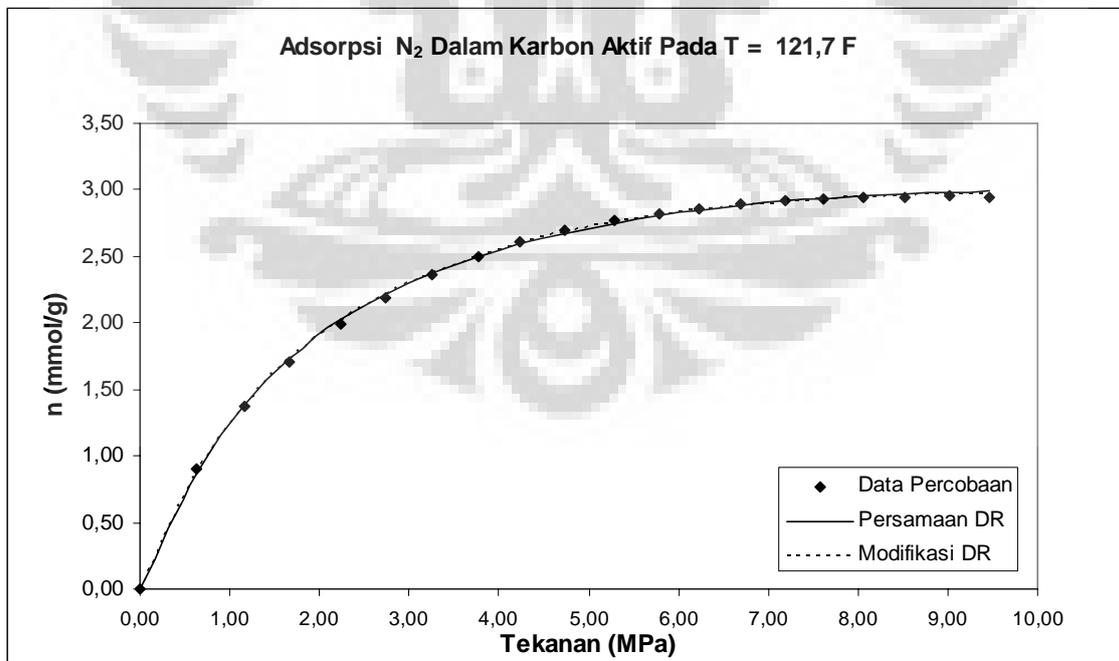
Lampiran A.2.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 121,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,013225475	3,5528658
P _{Si}	11,60650891	17,840258
D	0,147229711	0,1247304
r _{ads}	0	28,970428

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
121,7	49,8	0,630	0,235	0,907	0,863	0,874	4,82	3,66
121,7	49,8	1,160	0,432	1,379	1,380	1,379	0,10	0,00
121,7	49,8	1,670	0,622	1,704	1,733	1,727	1,70	1,36
121,7	49,8	2,240	0,834	1,989	2,023	2,017	1,69	1,38
121,7	49,8	2,740	1,019	2,193	2,217	2,213	1,10	0,90
121,7	49,8	3,260	1,212	2,364	2,376	2,374	0,51	0,42
121,7	49,8	3,780	1,405	2,504	2,504	2,504	0,00	0,00
121,7	49,8	4,240	1,575	2,604	2,595	2,597	0,32	0,25
121,7	49,8	4,730	1,755	2,696	2,676	2,679	0,75	0,65
121,7	49,8	5,290	1,961	2,768	2,751	2,755	0,59	0,47
121,7	49,8	5,780	2,141	2,821	2,805	2,808	0,58	0,47
121,7	49,8	6,230	2,306	2,861	2,846	2,848	0,50	0,43
121,7	49,8	6,690	2,473	2,893	2,882	2,882	0,39	0,37
121,7	49,8	7,190	2,655	2,918	2,913	2,911	0,16	0,22
121,7	49,8	7,620	2,811	2,936	2,936	2,931	0,00	0,15
121,7	49,8	8,060	2,969	2,939	2,955	2,947	0,53	0,27
121,7	49,8	8,530	3,138	2,943	2,971	2,960	0,97	0,58
121,7	49,8	9,020	3,313	2,954	2,985	2,969	1,07	0,53
121,7	49,8	9,470	3,473	2,943	2,995	2,974	1,77	1,07

AAPD	0,92
AAPDm	0,69



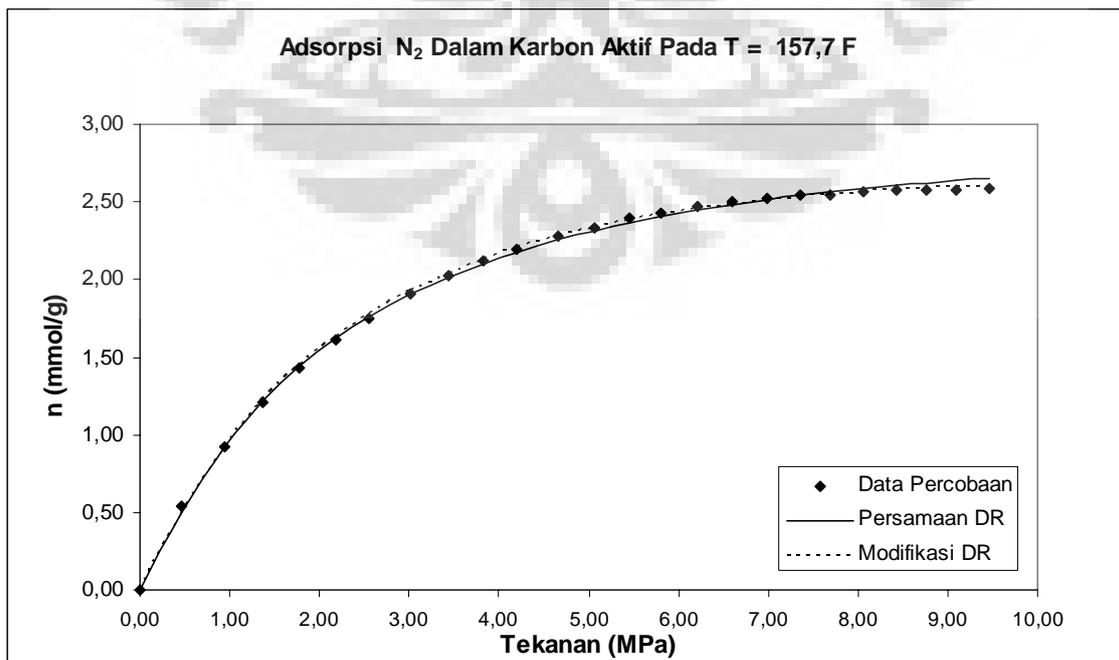
Lampiran A.2.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 157,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,724428501	3,1390483
P _{Si}	14,69767812	18,548262
D	0,143176319	0,1360109
Γ _{ads}	0	27,096234

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
157,7	69,8	0,470	0,165	0,539	0,499	0,497	7,43	7,87
157,7	69,8	0,940	0,329	0,925	0,923	0,925	0,22	0,00
157,7	69,8	1,370	0,480	1,204	1,217	1,225	1,09	1,75
157,7	69,8	1,780	0,623	1,429	1,439	1,453	0,75	1,70
157,7	69,8	2,180	0,762	1,607	1,617	1,635	0,64	1,76
157,7	69,8	2,560	0,895	1,754	1,759	1,781	0,33	1,54
157,7	69,8	3,020	1,055	1,904	1,904	1,927	0,00	1,25
157,7	69,8	3,440	1,200	2,025	2,014	2,039	0,52	0,69
157,7	69,8	3,830	1,335	2,118	2,103	2,127	0,71	0,45
157,7	69,8	4,200	1,463	2,196	2,176	2,200	0,92	0,15
157,7	69,8	4,650	1,618	2,275	2,254	2,275	0,93	0,00
157,7	69,8	5,060	1,759	2,336	2,315	2,333	0,88	0,10
157,7	69,8	5,450	1,893	2,393	2,366	2,381	1,11	0,50
157,7	69,8	5,800	2,013	2,429	2,407	2,418	0,88	0,44
157,7	69,8	6,210	2,153	2,468	2,450	2,455	0,73	0,50
157,7	69,8	6,600	2,285	2,500	2,486	2,486	0,58	0,57
157,7	69,8	6,990	2,417	2,525	2,517	2,512	0,31	0,53
157,7	69,8	7,350	2,539	2,539	2,543	2,532	0,16	0,29
157,7	69,8	7,690	2,653	2,546	2,566	2,548	0,75	0,07
157,7	69,8	8,050	2,774	2,561	2,587	2,563	1,01	0,09
157,7	69,8	8,420	2,898	2,575	2,606	2,575	1,20	0,01
157,7	69,8	8,760	3,012	2,575	2,622	2,585	1,82	0,37
157,7	69,8	9,100	3,125	2,571	2,636	2,592	2,52	0,80
157,7	69,8	9,470	3,247	2,582	2,650	2,598	2,63	0,62

AAPD	1,17
AAPDm	0,92



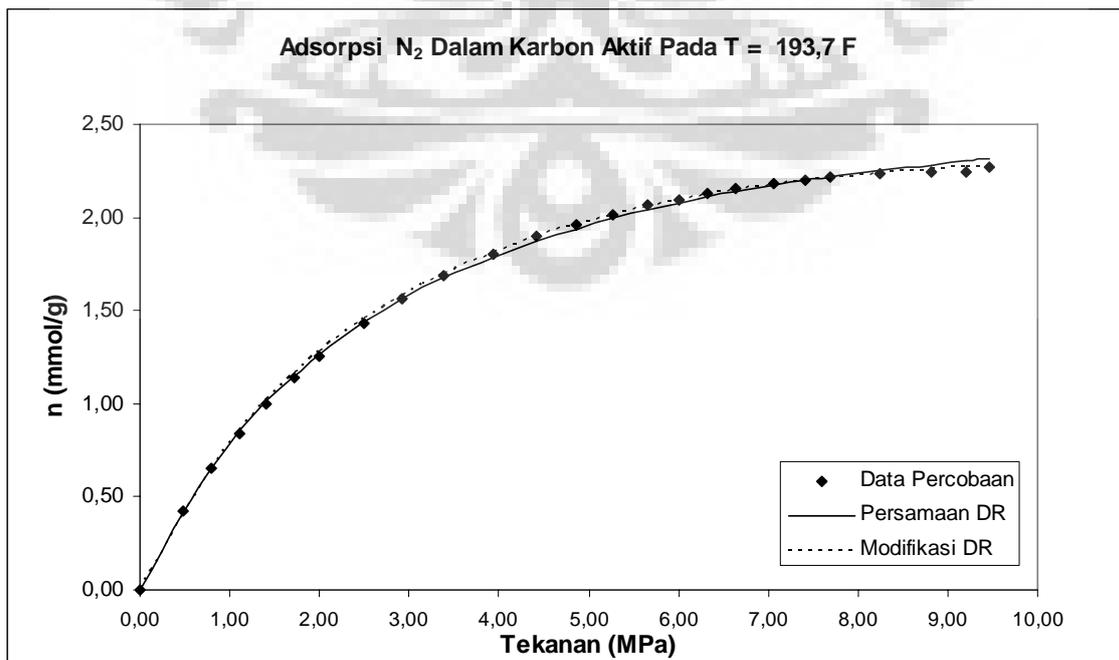
Lampiran A.2.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 193,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,452058482	2,821868
P _{Si}	18,22721153	22,560179
D	0,134778632	0,1298442
Γ _{ads}	0	28,035982

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
193,7	89,8	0,480	0,159	0,425	0,412	0,409	2,97	3,67
193,7	89,8	0,790	0,261	0,650	0,650	0,650	0,00	0,00
193,7	89,8	1,110	0,367	0,839	0,853	0,858	1,67	2,18
193,7	89,8	1,410	0,623	1,000	1,014	1,017	1,42	1,69
193,7	89,8	1,710	0,565	1,136	1,153	1,165	1,50	2,60
193,7	89,8	1,990	0,657	1,254	1,266	1,282	0,99	2,25
193,7	89,8	2,490	0,821	1,429	1,437	1,458	0,62	2,05
193,7	89,8	2,920	0,962	1,561	1,560	1,584	0,02	1,47
193,7	89,8	3,390	1,115	1,686	1,675	1,700	0,66	0,82
193,7	89,8	3,940	1,294	1,804	1,787	1,813	0,90	0,50
193,7	89,8	4,420	1,450	1,896	1,871	1,895	1,35	0,07
193,7	89,8	4,870	1,595	1,964	1,939	1,961	1,29	0,15
193,7	89,8	5,270	1,724	2,018	1,993	2,012	1,26	0,27
193,7	89,8	5,650	1,846	2,064	2,038	2,055	1,27	0,44
193,7	89,8	6,000	1,958	2,096	2,076	2,090	0,97	0,30
193,7	89,8	6,330	2,064	2,132	2,109	2,120	1,09	0,59
193,7	89,8	6,640	2,163	2,154	2,137	2,144	0,76	0,42
193,7	89,8	7,060	2,296	2,182	2,172	2,174	0,46	0,36
193,7	89,8	7,410	2,407	2,196	2,198	2,196	0,09	0,01
193,7	89,8	7,690	2,495	2,218	2,218	2,212	0,00	0,28
193,7	89,8	8,250	2,672	2,236	2,253	2,239	0,77	0,13
193,7	89,8	8,810	2,847	2,243	2,283	2,260	1,81	0,78
193,7	89,8	9,200	2,968	2,243	2,302	2,273	2,65	1,34
193,7	89,8	9,470	3,052	2,268	2,314	2,280	2,05	0,55

AAPD	1,11
AAPDm	0,96



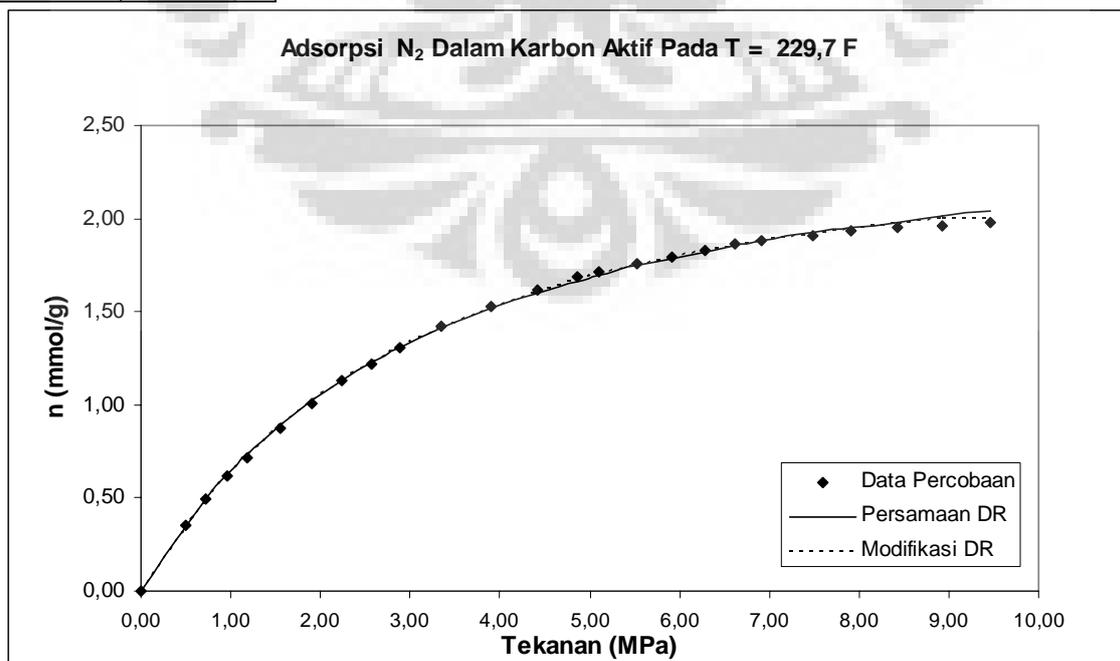
Lampiran A.2.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 229,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,224158607	2,6140186
P _{Si}	21,42222145	29,143403
D	0,132005968	0,1231658
r _{ads}	0	28,892292

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
229,7	109,8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
229,7	109,8	0,500	0,157	0,357	0,345	0,340	3,42	4,93
229,7	109,8	0,730	0,229	0,496	0,493	0,486	0,76	2,08
229,7	109,8	0,970	0,304	0,621	0,628	0,621	1,08	0,00
229,7	109,8	1,180	0,369	0,718	0,733	0,727	2,18	1,31
229,7	109,8	1,550	0,485	0,875	0,895	0,890	2,27	1,74
229,7	109,8	1,900	0,594	1,007	1,025	1,022	1,77	1,49
229,7	109,8	2,240	0,699	1,129	1,135	1,134	0,54	0,46
229,7	109,8	2,570	0,802	1,218	1,229	1,229	0,87	0,94
229,7	109,8	2,880	0,897	1,307	1,307	1,309	0,00	0,17
229,7	109,8	3,350	1,043	1,418	1,412	1,416	0,42	0,14
229,7	109,8	3,900	1,211	1,529	1,516	1,522	0,80	0,45
229,7	109,8	4,410	1,368	1,614	1,599	1,605	0,92	0,57
229,7	109,8	4,870	1,508	1,686	1,665	1,670	1,24	0,91
229,7	109,8	5,110	1,581	1,718	1,696	1,701	1,28	0,98
229,7	109,8	5,530	1,709	1,757	1,746	1,750	0,64	0,40
229,7	109,8	5,910	1,823	1,796	1,787	1,790	0,53	0,37
229,7	109,8	6,280	1,935	1,825	1,823	1,825	0,10	0,02
229,7	109,8	6,620	2,037	1,868	1,854	1,854	0,74	0,75
229,7	109,8	6,920	2,127	1,879	1,879	1,877	0,03	0,07
229,7	109,8	7,490	2,297	1,907	1,922	1,917	0,80	0,51
229,7	109,8	7,910	2,422	1,936	1,951	1,942	0,79	0,34
229,7	109,8	8,430	2,576	1,954	1,983	1,970	1,50	0,84
229,7	109,8	8,930	2,723	1,964	2,010	1,993	2,35	1,46
229,7	109,8	9,460	3,052	1,982	2,036	2,000	2,74	0,92

AAPD	1,16
AAPDm	0,91



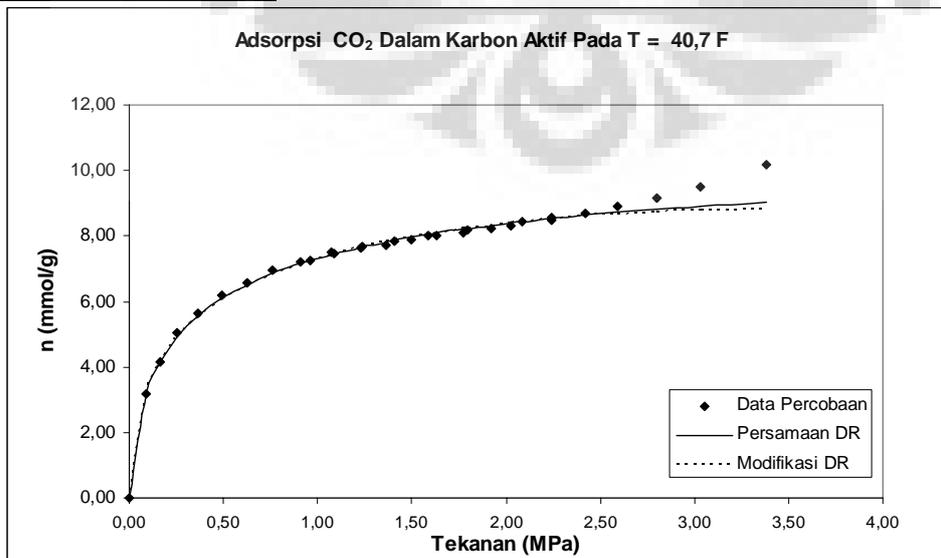
Lampiran A.3.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 40,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _S	9,689984311	11,494445
P _{Si}	11,78604994	29,908174
D	0,046226914	0,0374095
Γ _{ads}	0	24,061403

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
40,7	4,8	0,087	0,038	3,173	3,173	3,196	0,00	0,73
40,7	4,8	0,165	0,072	4,170	4,176	4,170	0,14	0,00
40,7	4,8	0,256	0,113	5,032	4,922	4,903	2,18	2,56
40,7	4,8	0,364	0,161	5,643	5,542	5,520	1,79	2,18
40,7	4,8	0,494	0,221	6,184	6,085	6,066	1,60	1,92
40,7	4,8	0,623	0,281	6,591	6,498	6,485	1,41	1,61
40,7	4,8	0,763	0,347	6,973	6,852	6,846	1,73	1,81
40,7	4,8	0,909	0,418	7,209	7,153	7,154	0,77	0,76
40,7	4,8	0,961	0,444	7,232	7,247	7,251	0,22	0,26
40,7	4,8	1,071	0,499	7,486	7,427	7,435	0,79	0,69
40,7	4,8	1,088	0,507	7,473	7,454	7,462	0,25	0,14
40,7	4,8	1,230	0,580	7,652	7,652	7,664	0,00	0,15
40,7	4,8	1,240	0,585	7,670	7,665	7,677	0,07	0,08
40,7	4,8	1,365	0,650	7,736	7,817	7,830	1,04	1,21
40,7	4,8	1,410	0,674	7,857	7,866	7,880	0,12	0,30
40,7	4,8	1,497	0,721	7,891	7,958	7,972	0,85	1,02
40,7	4,8	1,587	0,770	8,011	8,047	8,059	0,44	0,60
40,7	4,8	1,633	0,953	8,007	8,089	8,046	1,02	0,48
40,7	4,8	1,776	0,876	8,091	8,211	8,219	1,48	1,58
40,7	4,8	1,795	0,892	8,180	8,227	8,232	0,58	0,65
40,7	4,8	1,920	0,959	8,234	8,322	8,324	1,06	1,09
40,7	4,8	2,025	1,021	8,316	8,395	8,392	0,95	0,91
40,7	4,8	2,087	1,059	8,434	8,437	8,429	0,03	0,06
40,7	4,8	2,242	1,155	8,489	8,532	8,513	0,51	0,29
40,7	4,8	2,244	1,156	8,582	8,533	8,514	0,57	0,79
40,7	4,8	2,419	1,269	8,689	8,629	8,594	0,68	1,08
40,7	4,8	2,595	1,387	8,902	8,716	8,662	2,09	2,70
40,7	4,8	2,797	1,530	9,159	8,806	8,724	3,85	4,75
40,7	4,8	3,029	1,705	9,516	8,897	8,777	6,50	7,76
40,7	4,8	3,384	2,015	10,177	9,017	8,818	11,40	13,36

AAPD	1,47
AAPDm	1,72



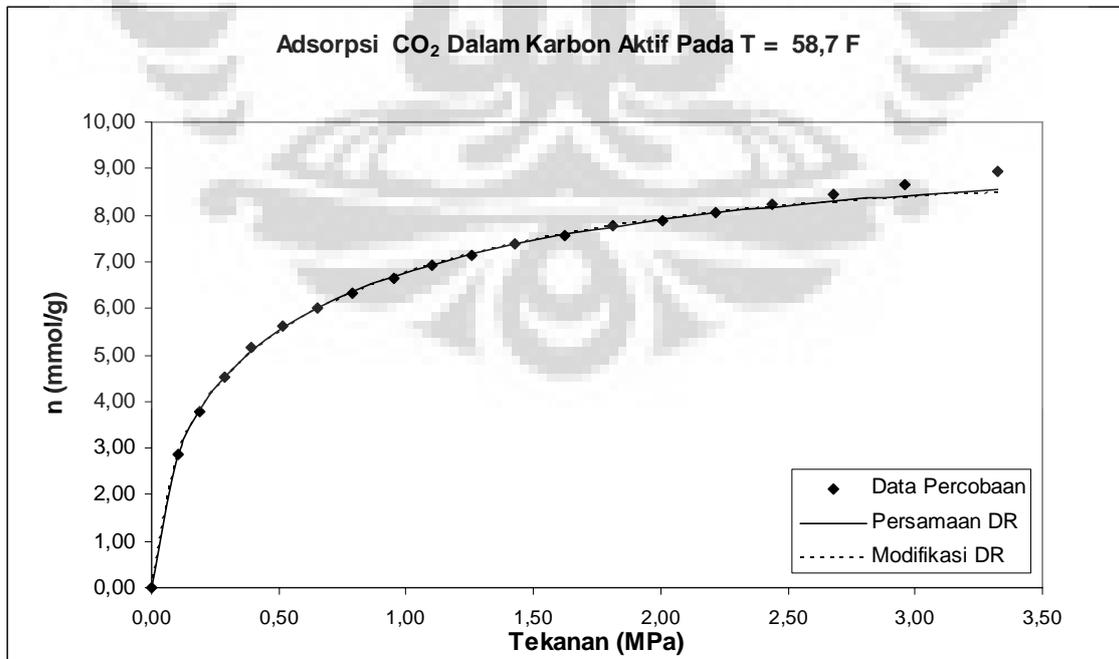
Lampiran A.3.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 58,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	9,302812386	11,295598
P _{Si}	11,71418592	32,018613
D	0,052485159	0,0412359
r _{ads}	0	24,138726

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
58,7	14,8	0,102	0,043	2,864	2,854	2,884	0,33	0,72
58,7	14,8	0,189	0,080	3,795	3,801	3,795	0,15	0,00
58,7	14,8	0,285	0,121	4,507	4,508	4,484	0,04	0,51
58,7	14,8	0,393	0,168	5,150	5,082	5,049	1,32	1,95
58,7	14,8	0,517	0,222	5,625	5,580	5,546	0,80	1,40
58,7	14,8	0,650	0,282	5,998	5,998	5,967	0,00	0,51
58,7	14,8	0,792	0,346	6,327	6,355	6,331	0,44	0,05
58,7	14,8	0,954	0,422	6,655	6,686	6,670	0,48	0,23
58,7	14,8	1,100	0,491	6,916	6,935	6,926	0,28	0,14
58,7	14,8	1,261	0,569	7,127	7,167	7,164	0,56	0,52
58,7	14,8	1,425	0,650	7,375	7,370	7,372	0,07	0,04
58,7	14,8	1,625	0,751	7,548	7,580	7,587	0,43	0,52
58,7	14,8	1,813	0,850	7,757	7,749	7,757	0,10	0,00
58,7	14,8	2,009	0,957	7,893	7,902	7,908	0,12	0,19
58,7	14,8	2,218	1,074	8,043	8,044	8,045	0,01	0,02
58,7	14,8	2,439	1,202	8,239	8,175	8,165	0,78	0,89
58,7	14,8	2,682	1,351	8,443	8,300	8,275	1,70	1,99
58,7	14,8	2,962	1,531	8,648	8,424	8,374	2,59	3,16
58,7	14,8	3,326	1,785	8,927	8,560	8,467	4,11	5,16

AAPD	14,28
AAPDm	0,95



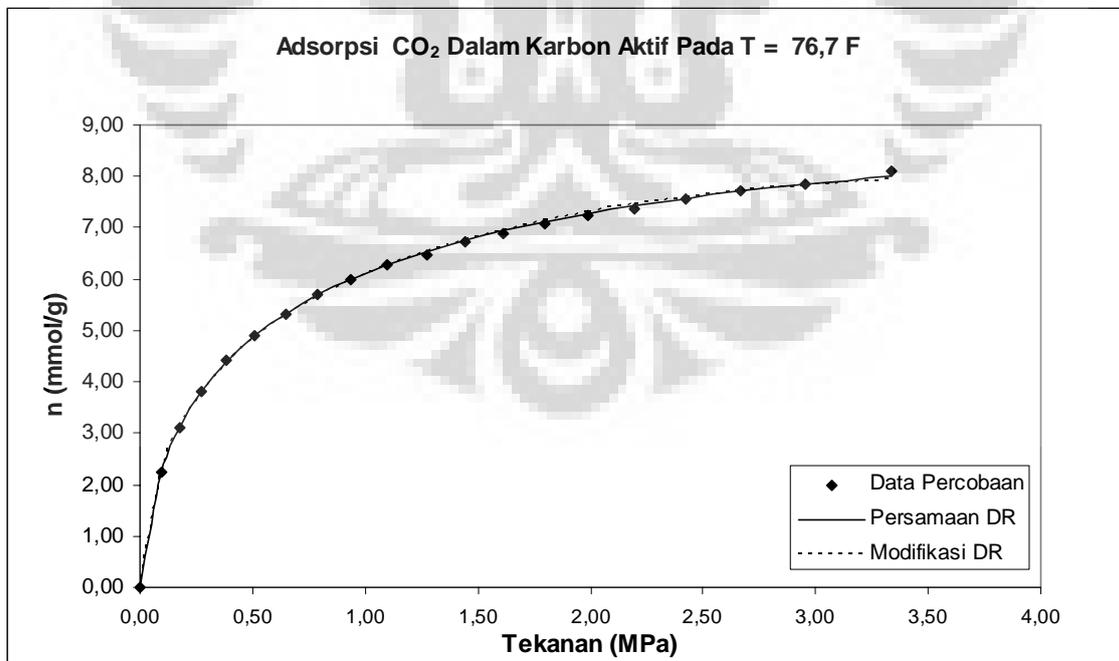
Lampiran A.3.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 76,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,863189081	10,8948
P _{Si}	12,77624282	33,945784
D	0,057067418	0,0451852
Γ _{ads}	0	24,013434

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
76,7	24,8	0,093	0,038	2,227	2,229	2,262	0,06	1,55
76,7	24,8	0,177	0,072	3,098	3,114	3,114	0,52	0,51
76,7	24,8	0,271	0,111	3,816	3,799	3,779	0,44	0,96
76,7	24,8	0,384	0,158	4,416	4,395	4,365	0,47	1,15
76,7	24,8	0,507	0,210	4,909	4,894	4,861	0,31	0,98
76,7	24,8	0,645	0,269	5,327	5,327	5,297	0,00	0,58
76,7	24,8	0,785	0,330	5,700	5,685	5,660	0,25	0,70
76,7	24,8	0,934	0,396	6,000	5,998	5,979	0,04	0,35
76,7	24,8	1,098	0,470	6,280	6,285	6,275	0,09	0,08
76,7	24,8	1,274	0,534	6,475	6,544	6,546	1,06	1,09
76,7	24,8	1,443	0,630	6,732	6,757	6,761	0,37	0,43
76,7	24,8	1,616	0,713	6,889	6,944	6,953	0,80	0,93
76,7	24,8	1,796	0,801	7,091	7,115	7,127	0,34	0,51
76,7	24,8	1,988	0,898	7,250	7,274	7,289	0,34	0,53
76,7	24,8	2,193	0,959	7,366	7,424	7,452	0,79	1,17
76,7	24,8	2,421	1,127	7,573	7,569	7,577	0,05	0,06
76,7	24,8	2,666	1,263	7,705	7,704	7,705	0,00	0,00
76,7	24,8	2,955	1,431	7,859	7,843	7,827	0,21	0,41
76,7	24,8	3,336	1,666	8,118	7,996	7,950	1,50	2,07

AAPD	0,40
AAPDm	0,74



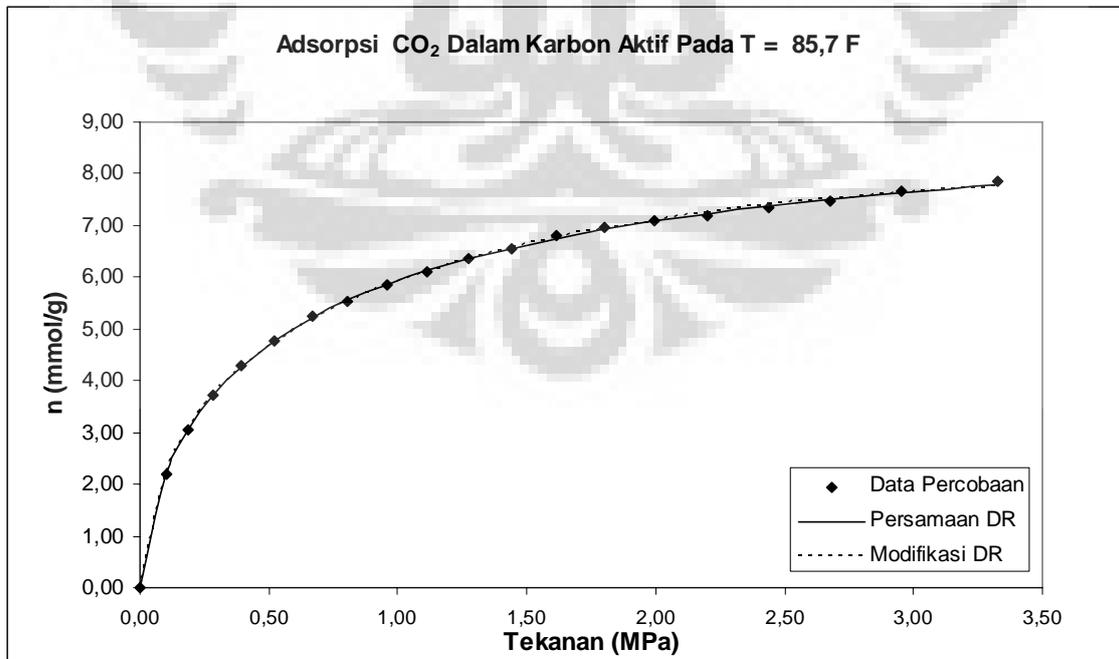
Lampiran A.3.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 85,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,678834997	10,661013
P _{Si}	13,00082963	33,955372
D	0,057826746	0,0459273
Γ _{ads}	0	23,970747

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,7	29,8	0,102	0,040	2,207	2,224	2,255	0,76	2,18
85,7	29,8	0,185	0,074	3,050	3,049	3,050	0,05	0,00
85,7	29,8	0,284	0,114	3,725	3,725	3,708	0,00	0,46
85,7	29,8	0,393	0,159	4,289	4,275	4,249	0,31	0,92
85,7	29,8	0,520	0,212	4,775	4,767	4,738	0,17	0,77
85,7	29,8	0,667	0,274	5,236	5,212	5,186	0,46	0,96
85,7	29,8	0,807	0,333	5,548	5,552	5,531	0,07	0,31
85,7	29,8	0,959	0,399	5,843	5,858	5,844	0,26	0,01
85,7	29,8	1,115	0,468	6,111	6,123	6,116	0,19	0,08
85,7	29,8	1,277	0,541	6,357	6,357	6,357	0,00	0,00
85,7	29,8	1,444	0,617	6,561	6,564	6,570	0,03	0,13
85,7	29,8	1,618	0,699	6,793	6,752	6,763	0,61	0,44
85,7	29,8	1,803	0,787	6,966	6,925	6,940	0,59	0,37
85,7	29,8	1,994	0,880	7,093	7,082	7,100	0,15	0,09
85,7	29,8	2,202	0,984	7,177	7,232	7,249	0,77	1,01
85,7	29,8	2,438	1,107	7,341	7,381	7,394	0,54	0,73
85,7	29,8	2,679	1,235	7,477	7,513	7,519	0,47	0,56
85,7	29,8	2,953	1,388	7,668	7,644	7,637	0,32	0,40
85,7	29,8	3,328	1,608	7,866	7,795	7,763	0,90	1,31

AAPD	0,35
AAPDm	0,56



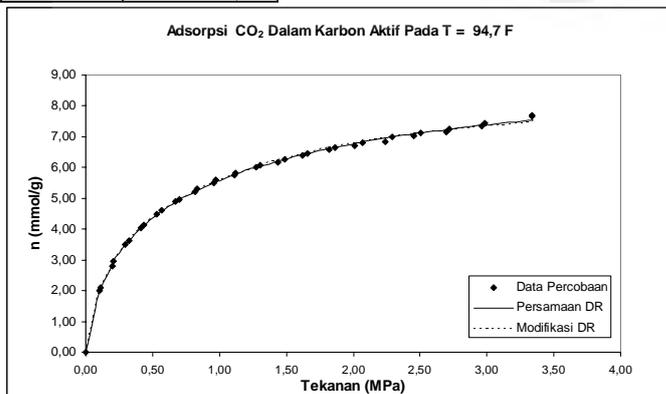
Lampiran A.3.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 94,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,711575461	10,409827
P _{Si}	16,5581335	34,946168
D	0,056425196	0,047821
Γ _{ads}	0	24,026532

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
94,7	34,8	0,104	0,041	2,014	2,043	2,061	1,48	2,37
94,7	34,8	0,107	0,042	2,100	2,080	2,097	0,94	0,13
94,7	34,8	0,195	0,077	2,814	2,864	2,866	1,79	1,86
94,7	34,8	0,210	0,083	2,968	2,968	2,968	0,01	0,00
94,7	34,8	0,298	0,118	3,489	3,502	3,496	0,38	0,22
94,7	34,8	0,323	0,128	3,625	3,635	3,628	0,28	0,10
94,7	34,8	0,411	0,164	4,025	4,032	4,024	0,16	0,03
94,7	34,8	0,436	0,174	4,141	4,130	4,122	0,27	0,46
94,7	34,8	0,531	0,212	4,482	4,467	4,460	0,34	0,48
94,7	34,8	0,571	0,229	4,600	4,594	4,589	0,12	0,24
94,7	34,8	0,670	0,270	4,889	4,875	4,873	0,27	0,32
94,7	34,8	0,700	0,283	4,973	4,954	4,952	0,39	0,42
94,7	34,8	0,815	0,331	5,225	5,223	5,225	0,05	0,00
94,7	34,8	0,833	0,338	5,298	5,261	5,264	0,69	0,63
94,7	34,8	0,958	0,391	5,509	5,509	5,516	0,00	0,13
94,7	34,8	0,973	0,398	5,584	5,536	5,543	0,87	0,73
94,7	34,8	1,109	0,456	5,766	5,767	5,779	0,03	0,22
94,7	34,8	1,123	0,463	5,811	5,790	5,802	0,36	0,16
94,7	34,8	1,273	0,528	6,009	6,009	6,024	0,00	0,25
94,7	34,8	1,304	0,542	6,082	6,051	6,067	0,50	0,24
94,7	34,8	1,433	0,600	6,166	6,213	6,231	0,77	1,06
94,7	34,8	1,484	0,623	6,261	6,274	6,292	0,20	0,49
94,7	34,8	1,618	0,684	6,380	6,421	6,440	0,64	0,94
94,7	34,8	1,654	0,700	6,448	6,458	6,477	0,15	0,45
94,7	34,8	1,823	0,779	6,589	6,619	6,637	0,46	0,74
94,7	34,8	1,867	0,800	6,659	6,658	6,676	0,01	0,25
94,7	34,8	2,010	0,868	6,700	6,778	6,794	1,17	1,40
94,7	34,8	2,067	0,895	6,791	6,823	6,837	0,48	0,68
94,7	34,8	2,238	0,979	6,850	6,950	6,959	1,45	1,59
94,7	34,8	2,293	1,006	7,009	6,988	6,995	0,31	0,20
94,7	34,8	2,454	1,087	7,032	7,092	7,093	0,86	0,87
94,7	34,8	2,501	1,111	7,134	7,121	7,120	0,18	0,20
94,7	34,8	2,694	1,211	7,170	7,233	7,221	0,87	0,70
94,7	34,8	2,720	1,225	7,261	7,247	7,233	0,20	0,39
94,7	34,8	2,964	1,356	7,357	7,372	7,342	0,20	0,21
94,7	34,8	2,981	1,365	7,441	7,380	7,348	0,82	1,24
94,7	34,8	3,335	1,564	7,652	7,537	7,475	1,51	2,32
94,7	34,8	3,340	1,566	7,698	7,538	7,476	2,07	2,88

AAPD	0,56
AAPDm	0,67



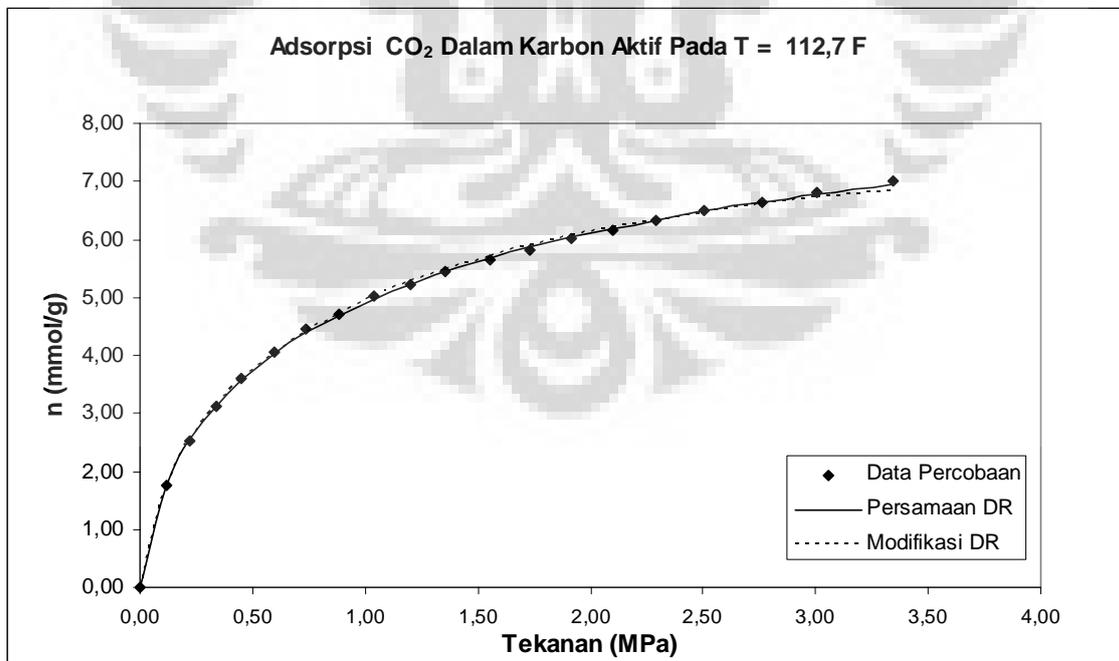
Lampiran A.3.6

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 112,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,663820124	9,7884075
P _{Si}	24,66430107	35,984251
D	0,055342868	0,0519476
Γ _{ads}	0	24,007182

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
112,7	44,8	0,117	0,044	1,773	1,773	1,773	0,00	0,00
112,7	44,8	0,225	0,086	2,518	2,553	2,557	1,38	1,55
112,7	44,8	0,337	0,129	3,120	3,125	3,135	0,13	0,47
112,7	44,8	0,453	0,175	3,607	3,578	3,595	0,79	0,32
112,7	44,8	0,594	0,232	4,052	4,017	4,040	0,88	0,30
112,7	44,8	0,740	0,289	4,445	4,387	4,416	1,31	0,65
112,7	44,8	0,882	0,346	4,720	4,688	4,721	0,69	0,01
112,7	44,8	1,041	0,412	5,016	4,977	5,013	0,77	0,06
112,7	44,8	1,202	0,479	5,223	5,228	5,264	0,10	0,80
112,7	44,8	1,356	0,544	5,459	5,439	5,474	0,37	0,27
112,7	44,8	1,553	0,628	5,643	5,675	5,707	0,56	1,12
112,7	44,8	1,733	0,707	5,820	5,865	5,891	0,76	1,21
112,7	44,8	1,919	0,790	6,002	6,039	6,058	0,62	0,93
112,7	44,8	2,100	0,872	6,164	6,192	6,202	0,47	0,62
112,7	44,8	2,291	0,961	6,334	6,339	6,337	0,07	0,04
112,7	44,8	2,502	1,060	6,491	6,484	6,467	0,11	0,36
112,7	44,8	2,763	1,187	6,625	6,645	6,608	0,31	0,26
112,7	44,8	3,006	1,308	6,818	6,780	6,719	0,56	1,45
112,7	44,8	3,345	1,484	7,011	6,947	6,850	0,92	2,30

AAPD	0,57
AAPDm	0,67



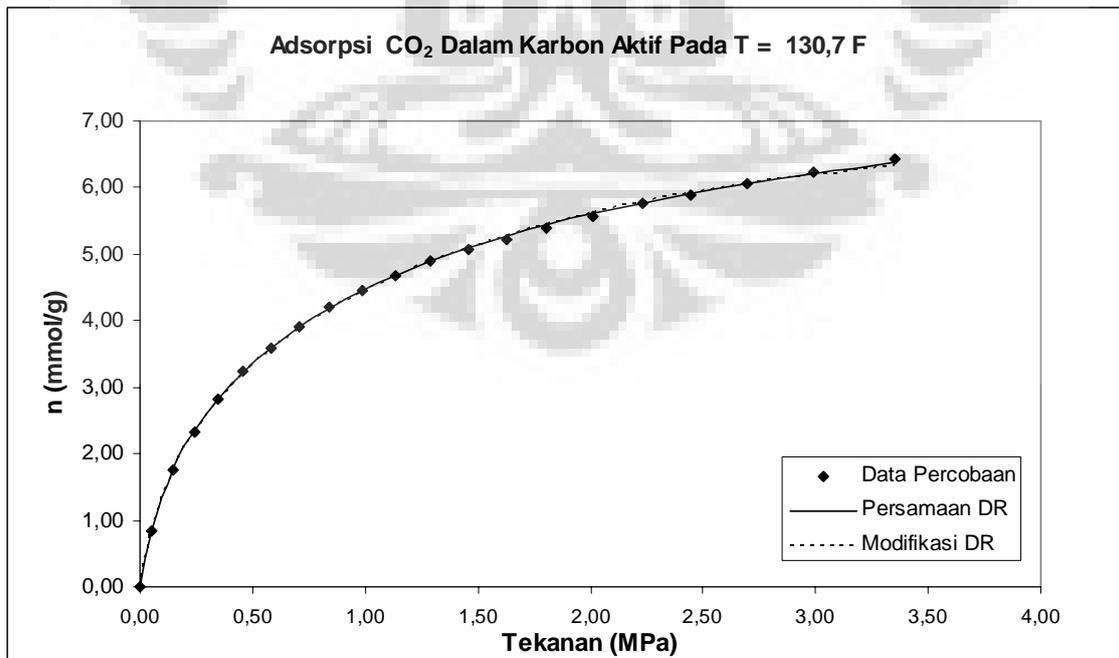
Lampiran A.3.7

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, T= 130,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	7,745245337	9,2094116
P _{Si}	19,86537356	36,819707
D	0,061617184	0,0545019
r _{ads}	0	23,993924

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
130,7	54,8	0,050	0,018	0,852	0,852	0,856	0,00	0,39
130,7	54,8	0,150	0,055	1,748	1,780	1,764	1,83	0,95
130,7	54,8	0,244	0,090	2,325	2,347	2,325	0,96	0,00
130,7	54,8	0,346	0,128	2,818	2,818	2,794	0,00	0,86
130,7	54,8	0,457	0,171	3,245	3,224	3,201	0,66	1,37
130,7	54,8	0,579	0,217	3,580	3,585	3,565	0,15	0,40
130,7	54,8	0,707	0,266	3,902	3,902	3,887	0,01	0,40
130,7	54,8	0,842	0,319	4,193	4,185	4,174	0,20	0,45
130,7	54,8	0,985	0,375	4,455	4,441	4,436	0,29	0,41
130,7	54,8	1,133	0,434	4,675	4,673	4,672	0,05	0,06
130,7	54,8	1,290	0,497	4,889	4,886	4,890	0,06	0,02
130,7	54,8	1,456	0,565	5,068	5,085	5,092	0,34	0,48
130,7	54,8	1,627	0,635	5,225	5,266	5,276	0,79	0,97
130,7	54,8	1,807	0,711	5,393	5,436	5,446	0,79	0,99
130,7	54,8	2,014	0,799	5,573	5,609	5,619	0,65	0,83
130,7	54,8	2,233	0,895	5,773	5,770	5,778	0,05	0,09
130,7	54,8	2,449	0,991	5,891	5,912	5,916	0,36	0,42
130,7	54,8	2,694	1,102	6,050	6,056	6,053	0,10	0,04
130,7	54,8	2,993	1,241	6,227	6,211	6,195	0,26	0,51
130,7	54,8	3,349	1,413	6,441	6,371	6,336	1,09	1,63

AAPD	0,43
AAPDm	0,56



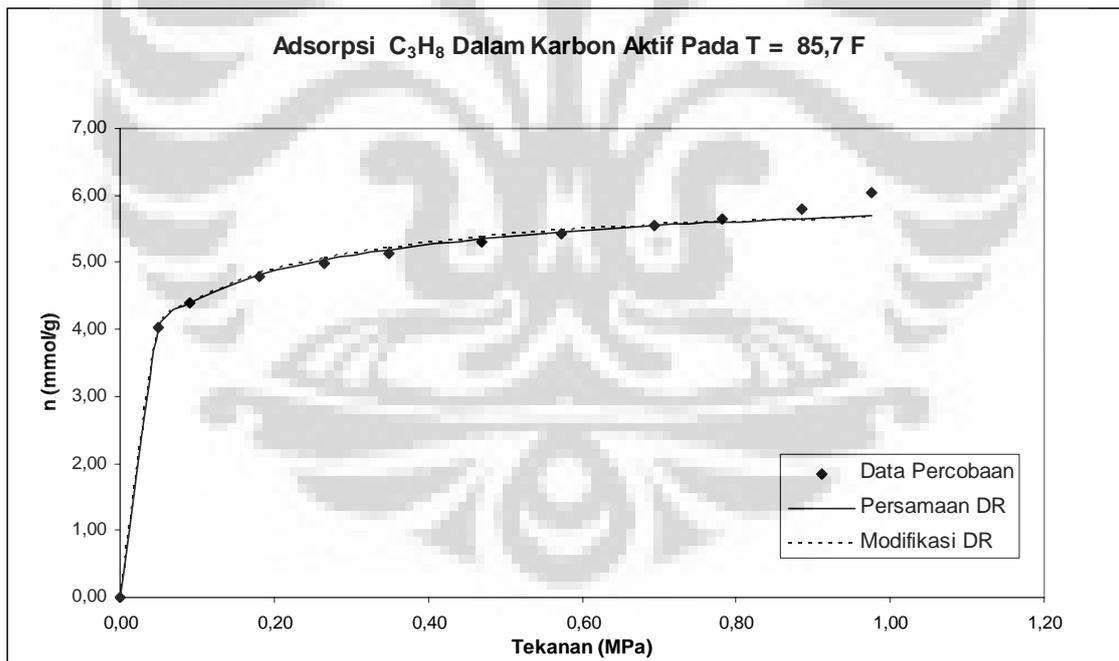
Lampiran A.4.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif, $T = 85,7^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	6,301921147	6,8596859
P_{Si}	13,81515028	32,835781
D	0,014302094	0,0127871
r_{ads}	0	14,313445

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,7	29,8	0,050	0,020	4,025	4,010	3,999	0,36	0,64
85,7	29,8	0,091	0,037	4,393	4,393	4,392	0,00	0,03
85,7	29,8	0,181	0,074	4,784	4,817	4,829	0,68	0,94
85,7	29,8	0,265	0,110	4,991	5,039	5,058	0,97	1,34
85,7	29,8	0,349	0,147	5,139	5,193	5,214	1,06	1,46
85,7	29,8	0,469	0,202	5,298	5,350	5,369	1,00	1,35
85,7	29,8	0,573	0,252	5,418	5,452	5,465	0,62	0,86
85,7	29,8	0,694	0,312	5,548	5,545	5,548	0,05	0,00
85,7	29,8	0,782	0,359	5,650	5,601	5,594	0,87	1,00
85,7	29,8	0,886	0,417	5,800	5,657	5,636	2,46	2,82
85,7	29,8	0,976	0,470	6,034	5,700	5,665	5,54	6,12

AAPD	1,24
AAPDm	1,51



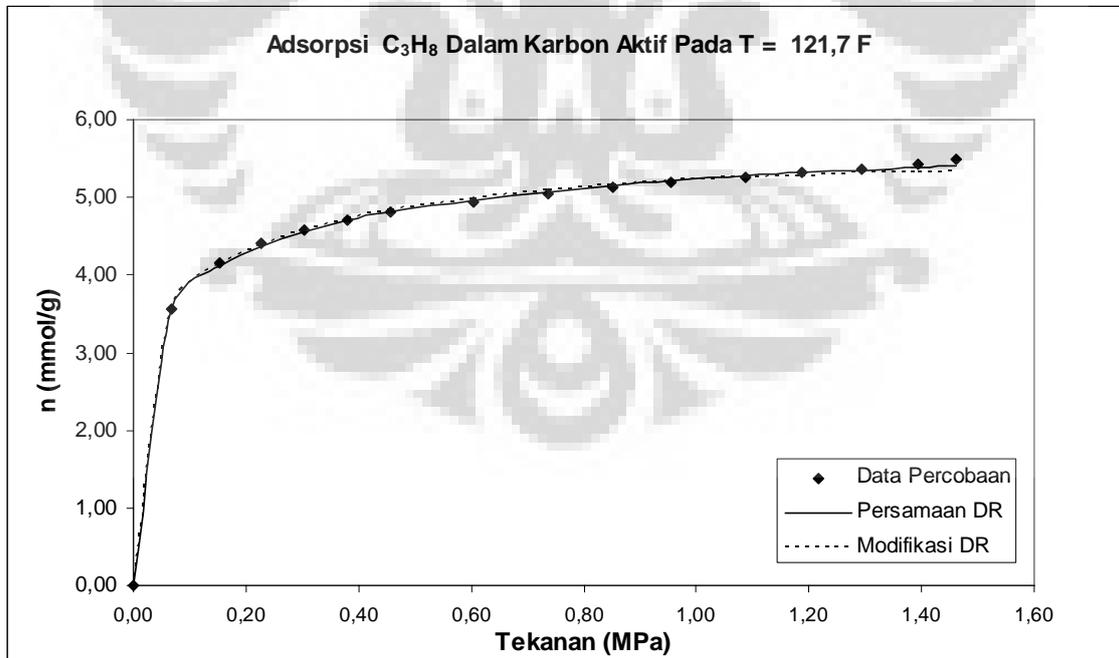
Lampiran A.4.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada $T = 121,7^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	5,911512922	6,7090127
P_{Si}	13,86992833	47,799128
D	0,017726785	0,0145856
r_{ads}	0	14,046343

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
121,7	49,8	0,067	0,025	3,568	3,571	3,568	0,07	0,00
121,7	49,8	0,152	0,058	4,150	4,120	4,124	0,73	0,61
121,7	49,8	0,226	0,087	4,400	4,377	4,389	0,51	0,25
121,7	49,8	0,304	0,118	4,584	4,564	4,581	0,44	0,07
121,7	49,8	0,381	0,149	4,709	4,701	4,722	0,17	0,27
121,7	49,8	0,458	0,182	4,809	4,810	4,832	0,02	0,48
121,7	49,8	0,603	0,244	4,950	4,966	4,988	0,32	0,76
121,7	49,8	0,736	0,305	5,052	5,074	5,091	0,42	0,77
121,7	49,8	0,852	0,360	5,127	5,150	5,160	0,44	0,64
121,7	49,8	0,956	0,411	5,186	5,207	5,210	0,41	0,45
121,7	49,8	1,086	0,478	5,257	5,269	5,259	0,24	0,04
121,7	49,8	1,188	0,534	5,311	5,311	5,289	0,00	0,43
121,7	49,8	1,294	0,595	5,370	5,350	5,313	0,37	1,07
121,7	49,8	1,393	0,656	5,434	5,383	5,330	0,94	1,92
121,7	49,8	1,462	0,700	5,495	5,404	5,339	1,66	2,86

AAPD	0,45
AAPDm	0,71



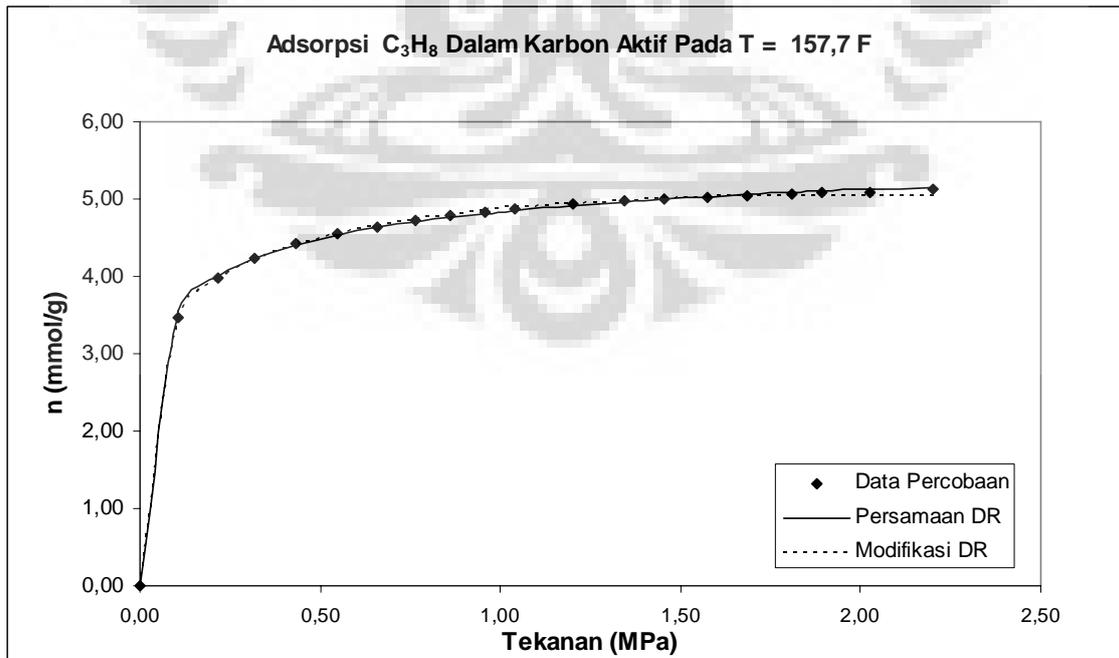
Lampiran A.4.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada $T = 157,7$ °F

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	5,506089477	6,3603421
P_{Si}	14,93650342	45,900743
D	0,017798949	0,0163435
r_{ads}	0	14,038901

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	$\rho_{gas}(mol/liter)$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
157,7	69,8	0,105	0,037	3,466	3,555	3,467	2,57	0,02
157,7	69,8	0,216	0,078	3,977	4,001	3,956	0,59	0,54
157,7	69,8	0,318	0,116	4,230	4,230	4,211	0,00	0,43
157,7	69,8	0,434	0,160	4,418	4,406	4,409	0,27	0,22
157,7	69,8	0,547	0,204	4,550	4,532	4,548	0,39	0,04
157,7	69,8	0,657	0,248	4,648	4,628	4,653	0,42	0,11
157,7	69,8	0,764	0,293	4,725	4,705	4,734	0,43	0,20
157,7	69,8	0,862	0,335	4,784	4,764	4,796	0,42	0,24
157,7	69,8	0,956	0,376	4,832	4,813	4,845	0,38	0,28
157,7	69,8	1,042	0,414	4,868	4,853	4,884	0,31	0,32
157,7	69,8	1,203	0,490	4,930	4,918	4,942	0,23	0,26
157,7	69,8	1,344	0,559	4,970	4,966	4,981	0,09	0,22
157,7	69,8	1,457	0,618	5,000	5,000	5,006	0,00	0,11
157,7	69,8	1,574	0,681	5,025	5,032	5,025	0,13	0,00
157,7	69,8	1,686	0,745	5,043	5,059	5,039	0,31	0,09
157,7	69,8	1,809	0,819	5,068	5,086	5,049	0,36	0,39
157,7	69,8	1,893	0,872	5,077	5,103	5,052	0,51	0,49
157,7	69,8	2,024	0,960	5,095	5,128	5,053	0,64	0,83
157,7	69,8	2,201	1,092	5,130	5,158	5,045	0,56	1,66

AAPD	0,45
AAPDm	0,34



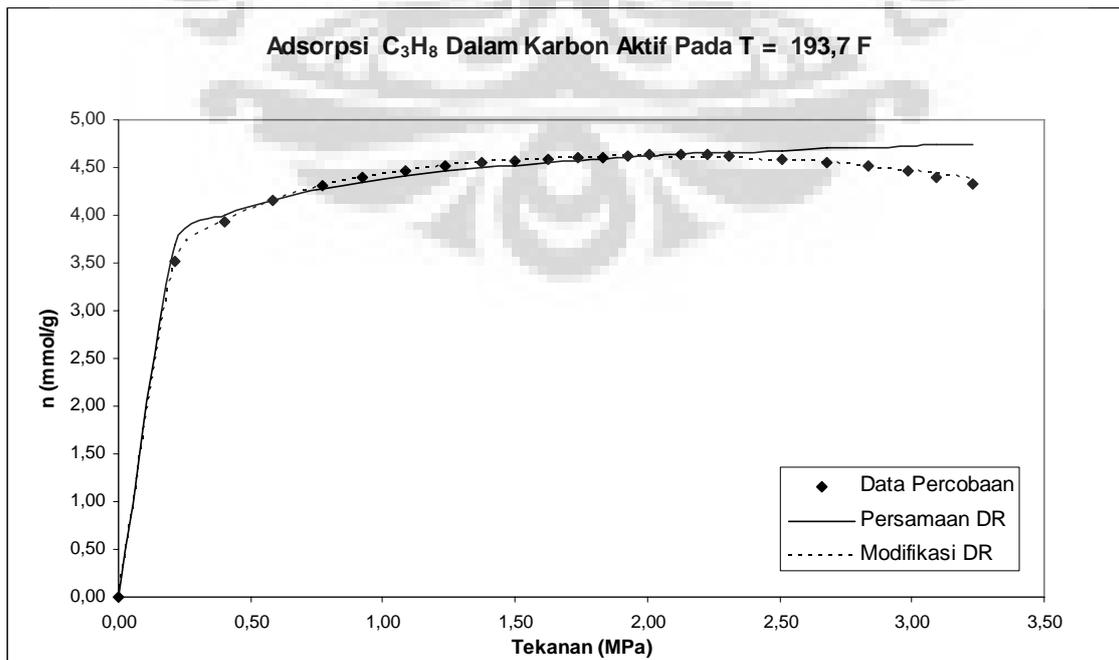
Lampiran A.4.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_2H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada $T = 193,7^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	4,937203029	6,0554818
P_{Si}	15,87953927	48,352451
D	0,015653352	0,0182119
r_{ads}	0	9,9325973

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	$\rho_{gas}(mol/liter)$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
193,7	89,8	0,214	0,072	3,520	3,693	3,520	4,90	0,00
193,7	89,8	0,400	0,138	3,939	3,993	3,929	1,39	0,25
193,7	89,8	0,586	0,205	4,164	4,164	4,160	0,00	0,10
193,7	89,8	0,769	0,274	4,309	4,277	4,309	0,74	0,01
193,7	89,8	0,925	0,335	4,393	4,350	4,400	0,97	0,15
193,7	89,8	1,088	0,401	4,466	4,412	4,471	1,21	0,11
193,7	89,8	1,235	0,463	4,516	4,458	4,519	1,28	0,07
193,7	89,8	1,374	0,523	4,550	4,495	4,554	1,20	0,08
193,7	89,8	1,502	0,582	4,570	4,526	4,577	0,98	0,15
193,7	89,8	1,624	0,639	4,591	4,551	4,594	0,86	0,07
193,7	89,8	1,735	0,693	4,605	4,573	4,605	0,70	0,00
193,7	89,8	1,833	0,742	4,609	4,590	4,610	0,42	0,03
193,7	89,8	1,927	0,790	4,618	4,605	4,613	0,28	0,11
193,7	89,8	2,010	0,835	4,632	4,618	4,614	0,30	0,39
193,7	89,8	2,124	0,898	4,634	4,634	4,611	0,00	0,50
193,7	89,8	2,224	0,955	4,630	4,647	4,605	0,39	0,53
193,7	89,8	2,307	1,005	4,616	4,658	4,598	0,91	0,38
193,7	89,8	2,506	1,131	4,586	4,681	4,574	2,06	0,26
193,7	89,8	2,679	1,252	4,552	4,698	4,544	3,21	0,18
193,7	89,8	2,835	1,372	4,518	4,713	4,508	4,31	0,23
193,7	89,8	2,985	1,499	4,461	4,726	4,465	5,93	0,07
193,7	89,8	3,091	1,597	4,389	4,734	4,428	7,88	0,89
193,7	89,8	3,228	1,740	4,327	4,745	4,371	9,65	1,01

AAPD	2,16
AAPDm	0,24



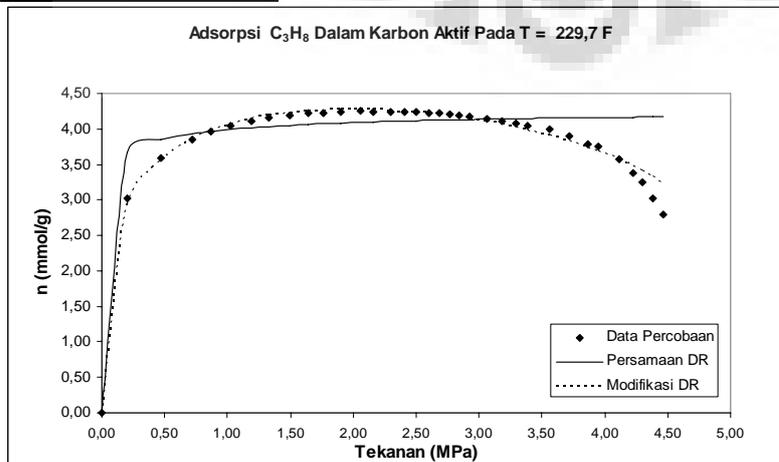
Lampiran A.4.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₈ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 229,7 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	4,220532173	6,2226803
P _{Si}	15,90541107	49,828446
D	0,007414899	0,0245889
r _{ads}	0	6,5425371

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
229,7	109,8	0,206	0,066	3,020	3,669	2,937	21,47	2,76
229,7	109,8	0,466	0,152	3,586	3,848	3,554	7,30	0,91
229,7	109,8	0,719	0,239	3,855	3,931	3,855	1,98	0,00
229,7	109,8	0,871	0,293	3,966	3,965	3,974	0,03	0,20
229,7	109,8	1,024	0,349	4,045	3,992	4,064	1,33	0,47
229,7	109,8	1,192	0,413	4,111	4,016	4,139	2,33	0,67
229,7	109,8	1,332	0,467	4,155	4,032	4,185	2,94	0,74
229,7	109,8	1,491	0,531	4,193	4,049	4,224	3,44	0,74
229,7	109,8	1,640	0,592	4,216	4,062	4,249	3,65	0,79
229,7	109,8	1,766	0,646	4,230	4,072	4,263	3,72	0,79
229,7	109,8	1,903	0,706	4,239	4,082	4,271	3,70	0,77
229,7	109,8	2,056	0,776	4,250	4,092	4,272	3,73	0,52
229,7	109,8	2,162	0,825	4,248	4,098	4,269	3,53	0,49
229,7	109,8	2,297	0,891	4,248	4,105	4,259	3,36	0,27
229,7	109,8	2,406	0,945	4,241	4,110	4,248	3,08	0,16
229,7	109,8	2,501	0,994	4,236	4,115	4,235	2,87	0,04
229,7	109,8	2,602	1,048	4,225	4,119	4,218	2,50	0,16
229,7	109,8	2,687	1,094	4,220	4,123	4,202	2,32	0,44
229,7	109,8	2,767	1,139	4,205	4,126	4,185	1,87	0,47
229,7	109,8	2,843	1,182	4,186	4,129	4,167	1,38	0,46
229,7	109,8	2,922	1,229	4,173	4,132	4,147	0,98	0,62
229,7	109,8	3,060	1,313	4,136	4,136	4,107	0,00	0,71
229,7	109,8	3,182	1,392	4,114	4,140	4,067	0,65	1,14
229,7	109,8	3,291	1,465	4,084	4,144	4,027	1,46	1,40
229,7	109,8	3,389	1,534	4,048	4,146	3,988	2,44	1,48
229,7	109,8	3,560	1,662	3,995	4,151	3,911	3,89	2,11
229,7	109,8	3,719	1,792	3,895	4,155	3,829	6,66	1,71
229,7	109,8	3,868	1,924	3,789	4,158	3,741	9,76	1,25
229,7	109,8	3,948	2,000	3,745	4,160	3,689	11,07	1,51
229,7	109,8	4,113	2,170	3,568	4,164	3,568	16,69	0,01
229,7	109,8	4,222	2,295	3,382	4,166	3,477	23,18	2,83
229,7	109,8	4,299	2,391	3,248	4,167	3,406	28,31	4,89
229,7	109,8	4,378	2,497	3,023	4,169	3,327	37,91	10,06
229,7	109,8	4,466	2,626	2,798	4,170	3,229	49,06	15,41

AAPD	7,90
AAPDm	1,68



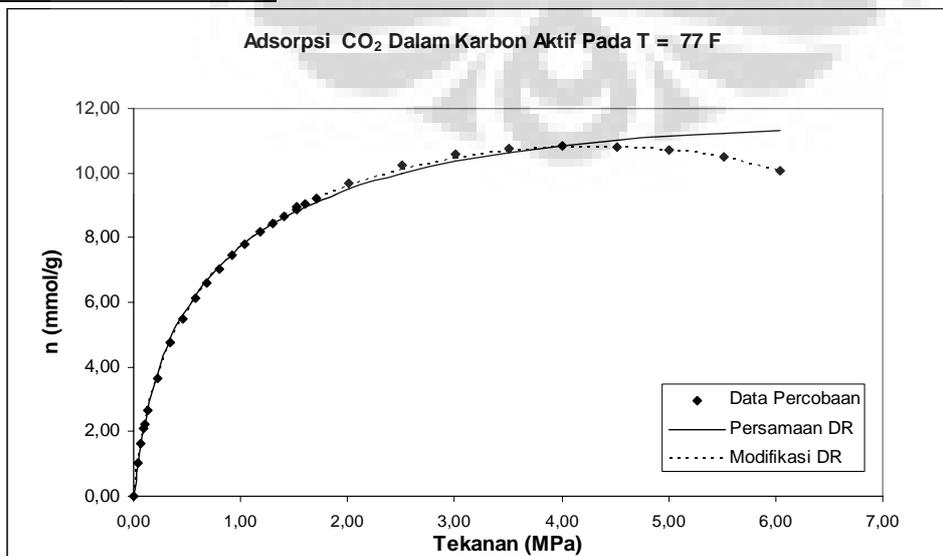
Lampiran A.5.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada T= 77 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	11,52666849	14,946834
P _{Si}	9,712132414	24,507515
D	0,077835192	0,0624446
r _{ads}	0	18,536909

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,034	0,014	1,050	0,957	1,000	8,88	4,77
77	25	0,063	0,026	1,637	1,606	1,627	1,84	0,56
77	25	0,092	0,037	2,119	2,119	2,119	0,00	0,00
77	25	0,099	0,040	2,238	2,243	2,238	0,19	0,03
77	25	0,130	0,053	2,661	2,708	2,685	1,77	0,88
77	25	0,218	0,089	3,642	3,754	3,696	3,07	1,48
77	25	0,348	0,143	4,739	4,865	4,790	2,66	1,07
77	25	0,464	0,192	5,492	5,611	5,537	2,16	0,82
77	25	0,580	0,241	6,111	6,212	6,149	1,65	0,61
77	25	0,685	0,286	6,580	6,668	6,618	1,34	0,58
77	25	0,804	0,338	7,039	7,110	7,078	1,00	0,54
77	25	0,913	0,386	7,469	7,460	7,445	0,13	0,33
77	25	1,044	0,445	7,804	7,826	7,832	0,29	0,37
77	25	1,184	0,509	8,166	8,166	8,193	0,01	0,33
77	25	1,306	0,565	8,457	8,426	8,472	0,36	0,18
77	25	1,408	0,613	8,673	8,622	8,682	0,58	0,10
77	25	1,519	0,666	8,890	8,817	8,891	0,82	0,00
77	25	1,527	0,670	8,948	8,831	8,905	1,31	0,48
77	25	1,600	0,705	9,037	8,949	9,031	0,98	0,07
77	25	1,703	0,755	9,211	9,104	9,197	1,16	0,15
77	25	2,011	0,909	9,704	9,503	9,620	2,07	0,87
77	25	2,510	1,174	10,232	9,996	10,123	2,31	1,06
77	25	3,012	1,463	10,577	10,360	10,463	2,05	1,08
77	25	3,512	1,778	10,771	10,635	10,675	1,26	0,89
77	25	4,012	2,129	10,845	10,846	10,783	0,01	0,57
77	25	4,519	2,532	10,819	11,013	10,795	1,80	0,22
77	25	5,010	2,990	10,705	11,140	10,711	4,07	0,06
77	25	5,511	3,563	10,487	11,242	10,507	7,21	0,19
77	25	6,036	4,391	10,090	11,325	10,090	12,24	0,00

AAPD	2,18
AAPDm	0,63



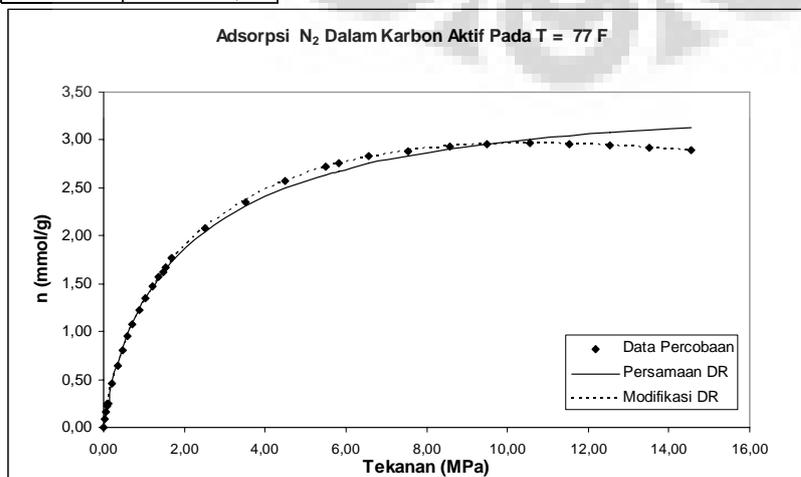
Lampiran A.6.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 77 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,20010242	5,4148663
P _{Si}	24,87927358	104,51365
D	0,085167366	0,0644368
r _{ads}	0	18,257546

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
77	25	0,034	0,014	0,088	0,078	0,084	11,39	4,49
77	25	0,063	0,025	0,158	0,151	0,156	4,27	1,61
77	25	0,091	0,037	0,220	0,219	0,220	0,59	0,01
77	25	0,101	0,041	0,243	0,243	0,243	0,00	0,09
77	25	0,105	0,042	0,247	0,251	0,251	1,74	1,67
77	25	0,221	0,089	0,461	0,478	0,468	3,82	1,48
77	25	0,341	0,138	0,644	0,668	0,650	3,61	0,91
77	25	0,465	0,188	0,805	0,830	0,810	3,15	0,61
77	25	0,596	0,241	0,956	0,978	0,957	2,29	0,11
77	25	0,714	0,289	1,076	1,093	1,074	1,62	0,20
77	25	0,878	0,355	1,223	1,235	1,218	0,98	0,33
77	25	1,030	0,416	1,347	1,349	1,338	0,14	0,73
77	25	1,201	0,486	1,472	1,463	1,458	0,55	0,94
77	25	1,353	0,547	1,572	1,554	1,554	1,12	1,12
77	25	1,493	0,604	1,616	1,631	1,636	0,93	1,26
77	25	1,524	0,617	1,675	1,647	1,654	1,67	1,28
77	25	1,699	0,688	1,770	1,733	1,746	2,13	1,37
77	25	2,503	1,014	2,076	2,042	2,085	1,65	0,40
77	25	3,510	1,422	2,353	2,308	2,377	1,89	1,04
77	25	4,509	1,828	2,578	2,496	2,578	3,18	0,00
77	25	5,497	2,227	2,721	2,635	2,719	3,14	0,08
77	25	5,827	2,360	2,762	2,674	2,756	3,16	0,22
77	25	6,573	2,661	2,829	2,752	2,825	2,74	0,15
77	25	7,538	3,047	2,887	2,834	2,889	1,84	0,07
77	25	8,564	3,455	2,932	2,905	2,933	0,94	0,03
77	25	9,490	3,820	2,954	2,957	2,955	0,09	0,04
77	25	10,550	4,234	2,962	3,006	2,964	1,47	0,05
77	25	11,548	4,619	2,958	3,044	2,959	2,89	0,03
77	25	12,537	4,996	2,944	3,075	2,944	4,45	0,01
77	25	13,528	5,368	2,922	3,101	2,920	6,12	0,05
77	25	14,565	5,752	2,890	3,123	2,888	8,06	0,07

AAPD	2,63
AAPDm	0,66



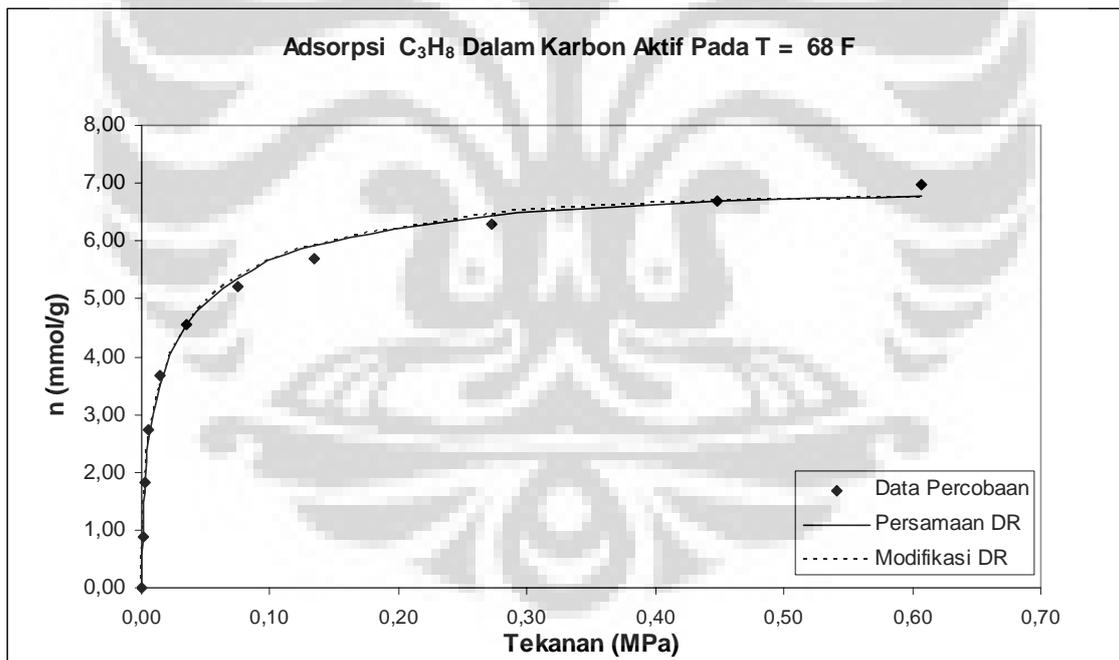
Lampiran A.7.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada $T= 68\text{ }^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	6,831997204	6,9734583
P_{Si}	0,973917598	1,0989767
D	0,036699421	0,035793
r_{ads}	0	13,751514

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
68	20,0	0,001	0,000	0,892	1,105	1,109	23,84	24,34
68	20,0	0,002	0,001	1,810	1,809	1,810	0,07	0,00
68	20,0	0,006	0,002	2,740	2,576	2,574	5,98	6,04
68	20,0	0,014	0,006	3,673	3,515	3,512	4,30	4,38
68	20,0	0,035	0,015	4,556	4,556	4,557	0,00	0,02
68	20,0	0,075	0,031	5,223	5,365	5,373	2,72	2,87
68	20,0	0,134	0,056	5,694	5,913	5,926	3,84	4,08
68	20,0	0,272	0,118	6,291	6,437	6,449	2,32	2,51
68	20,0	0,448	0,201	6,683	6,683	6,677	0,01	0,10
68	20,0	0,607	0,281	6,982	6,776	6,745	2,95	3,39

AAPD	4,60
AAPDm	4,77



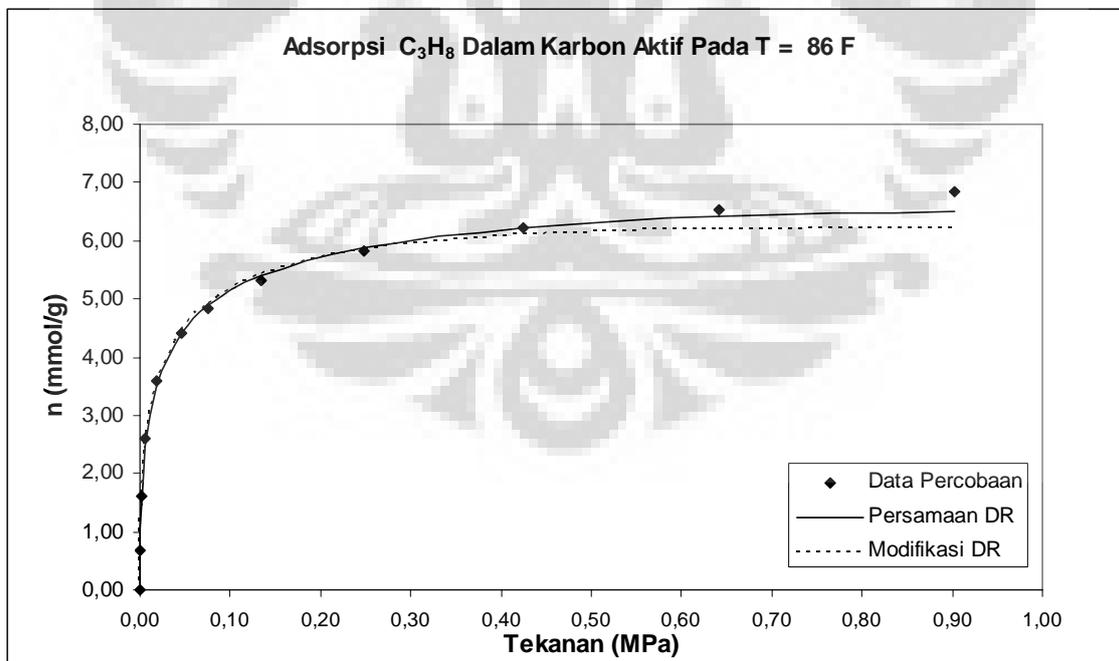
Lampiran A.7.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada $T = 86^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	6,58992637	6,4326348
P_{Si}	1,665770766	1,2906249
D	0,031269975	0,0328794
r_{ads}	0	13,717919

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
68	20,0	0,000	0,000	0,687	0,687	0,687	0,00	0,00
68	20,0	0,002	0,001	1,614	1,480	1,499	8,27	7,10
68	20,0	0,006	0,002	2,602	2,467	2,510	5,17	3,54
68	20,0	0,019	0,007	3,600	3,508	3,565	2,55	0,97
68	20,0	0,046	0,020	4,402	4,403	4,455	0,02	1,20
68	20,0	0,075	0,030	4,828	4,885	4,924	1,18	1,99
68	20,0	0,135	0,055	5,305	5,406	5,416	1,91	2,08
68	20,0	0,248	0,103	5,837	5,884	5,839	0,80	0,03
68	20,0	0,424	0,181	6,215	6,215	6,094	0,00	1,94
68	20,0	0,641	0,285	6,530	6,405	6,198	1,92	5,08
68	20,0	0,903	0,426	6,828	6,513	6,207	4,61	9,10

AAPD	2,40
AAPDm	3,00



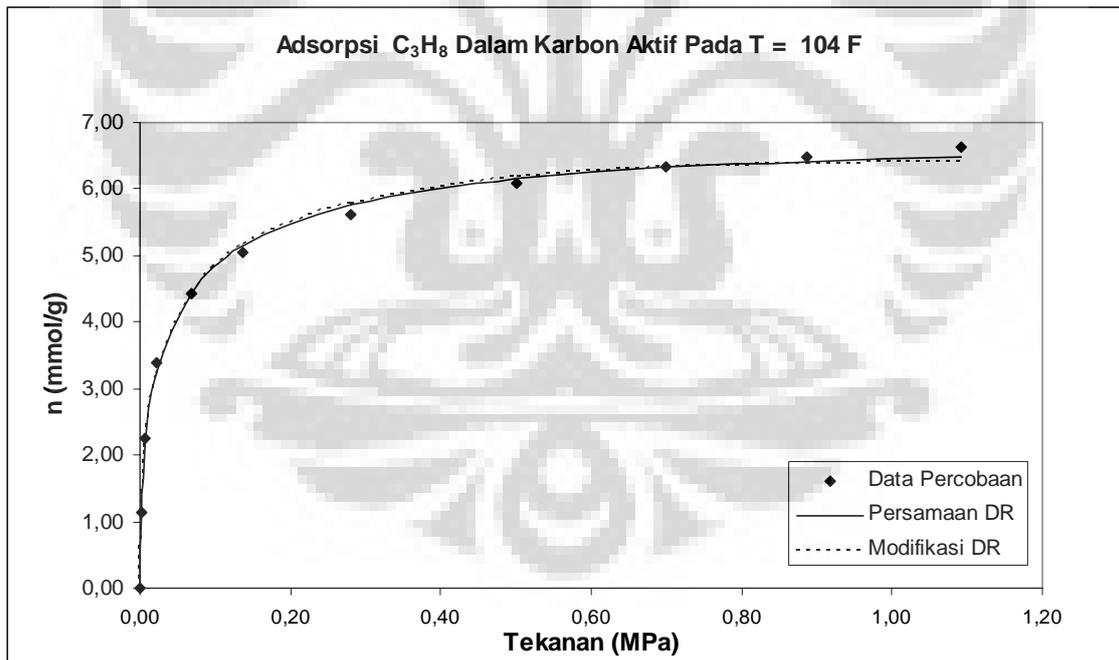
Lampiran A.7.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada $T = 104^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	6,531961838	6,7719361
P_{Si}	1,819983632	2,2375701
D	0,035774614	0,034455
r_{ads}	0	13,68936

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	$\rho_{gas}(mol/liter)$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
104	40,0	0,002	0,000	1,132	1,132	1,132	0,04	0,00
104	40,0	0,007	0,003	2,263	2,145	2,137	5,20	5,57
104	40,0	0,022	0,008	3,385	3,251	3,241	3,96	4,26
104	40,0	0,068	0,026	4,433	4,433	4,433	0,01	0,00
104	40,0	0,137	0,054	5,056	5,145	5,159	1,76	2,03
104	40,0	0,279	0,112	5,619	5,760	5,786	2,52	2,96
104	40,0	0,500	0,207	6,081	6,153	6,173	1,19	1,51
104	40,0	0,700	0,301	6,322	6,322	6,322	0,00	0,00
104	40,0	0,886	0,395	6,478	6,412	6,385	1,02	1,43
104	40,0	1,093	0,509	6,638	6,471	6,406	2,51	3,50

AAPD	1,82
AAPDm	2,13



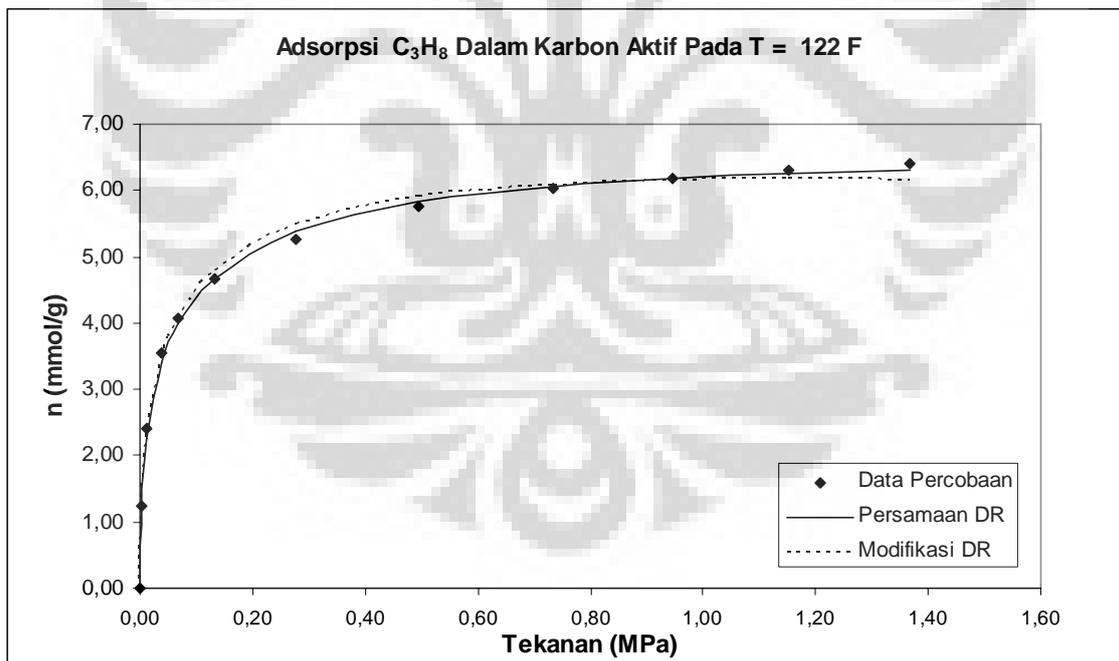
Lampiran A.7.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada $T = 122^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	6,368104582	6,5122429
P_{Si}	2,250940829	2,1046708
D	0,038477	0,0398168
r_{ads}	0	13,600989

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	$\rho_{gas}(mol/liter)$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50,0	0,003	0,000	1,234	1,234	1,234	0,00	0,00
122	50,0	0,013	0,005	2,396	2,258	2,289	5,76	4,48
122	50,0	0,040	0,015	3,548	3,400	3,472	4,16	2,14
122	50,0	0,069	0,026	4,074	3,984	4,075	2,20	0,04
122	50,0	0,133	0,050	4,675	4,679	4,787	0,08	2,40
122	50,0	0,276	0,107	5,265	5,375	5,481	2,08	4,11
122	50,0	0,496	0,198	5,747	5,832	5,906	1,48	2,76
122	50,0	0,734	0,304	6,034	6,068	6,092	0,56	0,96
122	50,0	0,945	0,405	6,186	6,186	6,159	0,00	0,44
122	50,0	1,151	0,513	6,293	6,259	6,176	0,54	1,86
122	50,0	1,369	0,640	6,415	6,308	6,160	1,67	3,97

AAPD	1,69
AAPDm	2,10



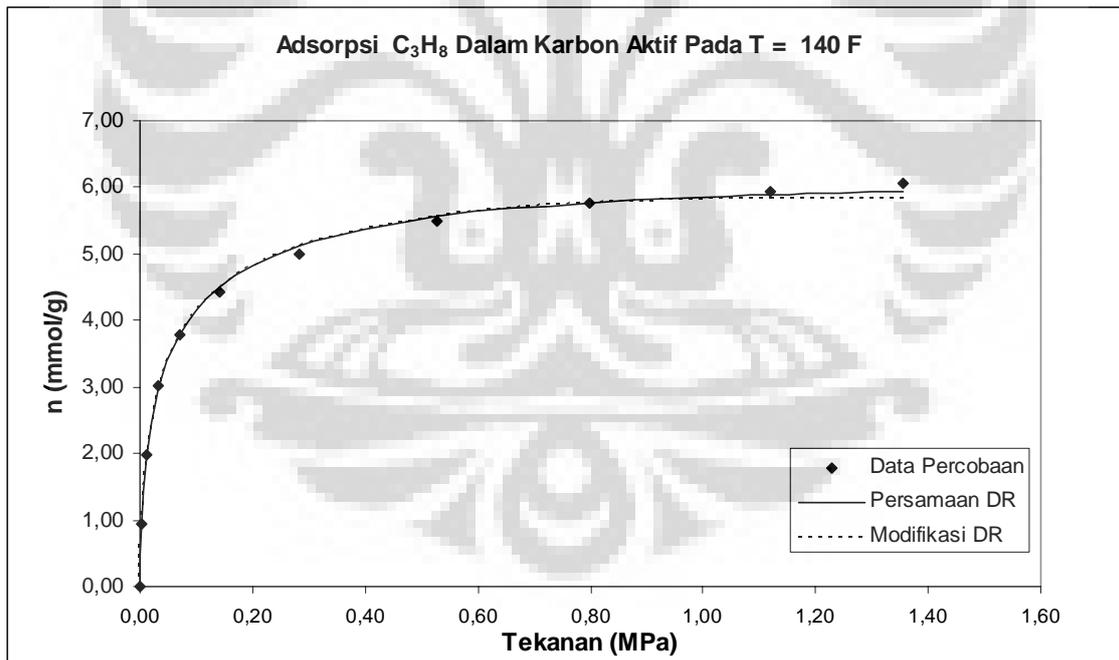
Lampiran A.7.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C_3H_8 dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada $T= 68\text{ }^\circ F$

	Pers. DR	Modifikasi
V_s	5,95889765	6,1929067
P_{Si}	1,954579492	2,4049621
D	0,04099973	0,0393811
r_{ads}	0	13,770328

Temp ($^\circ F$)	Temp ($^\circ C$)	P (MPa)	$\rho_{gas}(mol/liter)$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
140	60,0	0,002	0,001	0,946	0,946	0,946	0,00	0,00
140	60,0	0,011	0,004	1,983	1,947	1,938	1,81	2,26
140	60,0	0,031	0,011	3,015	2,961	2,949	1,80	2,17
140	60,0	0,070	0,026	3,791	3,789	3,784	0,04	0,18
140	60,0	0,142	0,052	4,431	4,496	4,502	1,47	1,60
140	60,0	0,283	0,106	4,987	5,112	5,130	2,51	2,88
140	60,0	0,527	0,203	5,494	5,554	5,573	1,09	1,43
140	60,0	0,800	0,320	5,767	5,767	5,767	0,00	0,00
140	60,0	1,120	0,472	5,941	5,884	5,845	0,96	1,62
140	60,0	1,355	0,595	6,048	5,926	5,849	2,01	3,29

AAPD	1,17
AAPDm	1,54



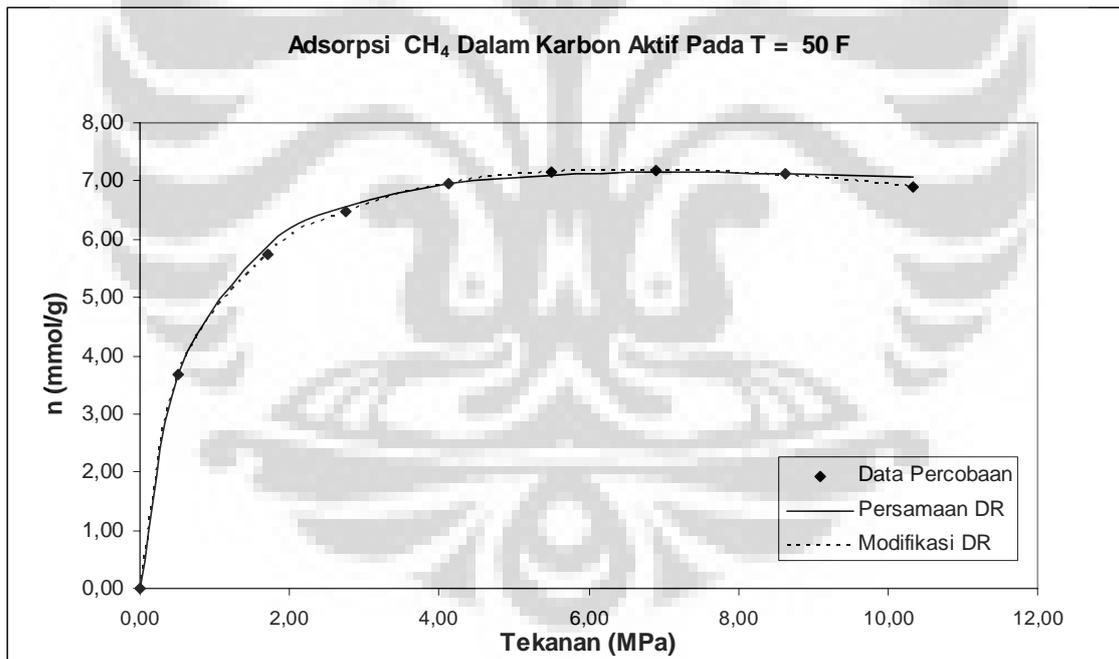
Lampiran A.8.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 50 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	7,157562684	9,0874995
P _{Si}	7,182993038	24,679457
D	0,096561363	0,0601888
r _{ads}	0	26,465728

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
50	10,0	0,517	0,222	3,668	3,668	3,666	0,00	0,05
50	10,0	1,710	0,753	5,748	5,866	5,750	2,06	0,03
50	10,0	2,759	1,243	6,479	6,552	6,488	1,13	0,13
50	10,0	4,124	1,914	6,960	6,948	6,953	0,17	0,10
50	10,0	5,509	2,636	7,148	7,109	7,147	0,54	0,02
50	10,0	6,891	3,396	7,187	7,156	7,182	0,43	0,06
50	10,0	8,622	4,395	7,111	7,135	7,090	0,33	0,29
50	10,0	10,335	5,424	6,903	7,067	6,903	2,37	0,00

AAPD	0,88
AAPDm	0,09



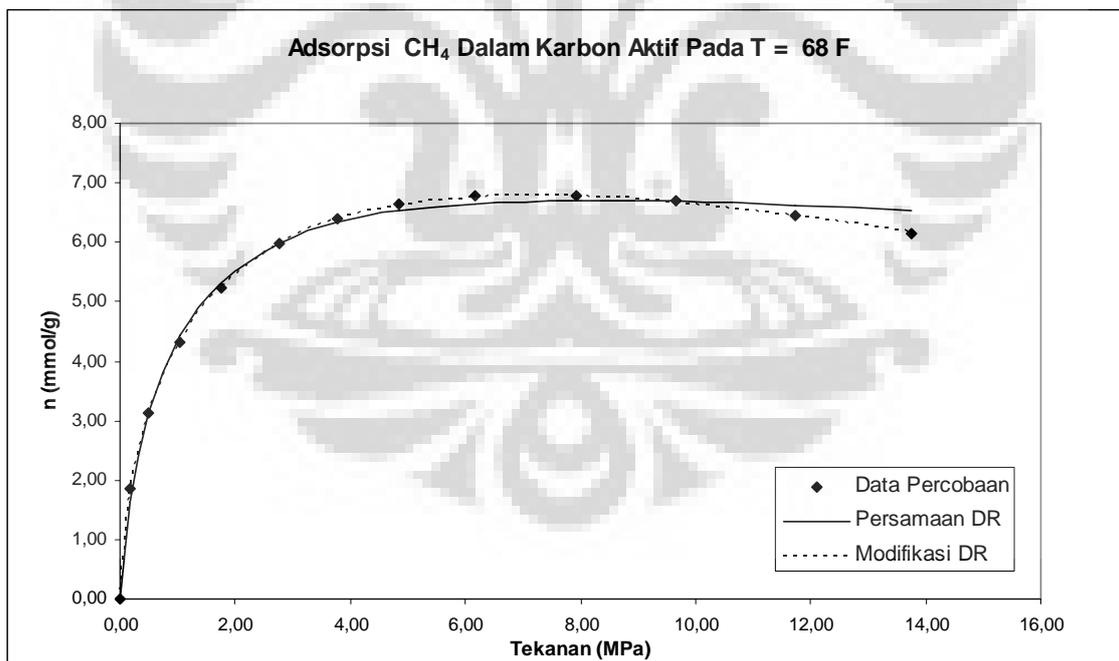
Lampiran A.8.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 68 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	6,707102408	8,6784947
P _{Si}	8,212339861	25,993288
D	0,097121468	0,0647491
r _{ads}	0	25,95918

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
68	20,0	0,183	0,075	1,860	1,643	1,762	11,65	5,26
68	20,0	0,496	0,205	3,122	3,122	3,122	0,00	0,00
68	20,0	1,034	0,432	4,321	4,420	4,353	2,30	0,75
68	20,0	1,744	0,739	5,240	5,313	5,256	1,38	0,31
68	20,0	2,758	1,191	5,975	5,975	5,978	0,01	0,04
68	20,0	3,785	1,667	6,388	6,327	6,386	0,95	0,03
68	20,0	4,844	2,176	6,640	6,528	6,623	1,69	0,26
68	20,0	6,181	2,845	6,789	6,655	6,761	1,98	0,41
68	20,0	7,932	3,763	6,773	6,706	6,774	0,98	0,01
68	20,0	9,656	4,701	6,690	6,690	6,670	0,00	0,30
68	20,0	11,738	5,859	6,452	6,624	6,450	2,67	0,03
68	20,0	13,745	6,974	6,154	6,537	6,182	6,22	0,46

AAPD	2,49
AAPDm	0,66



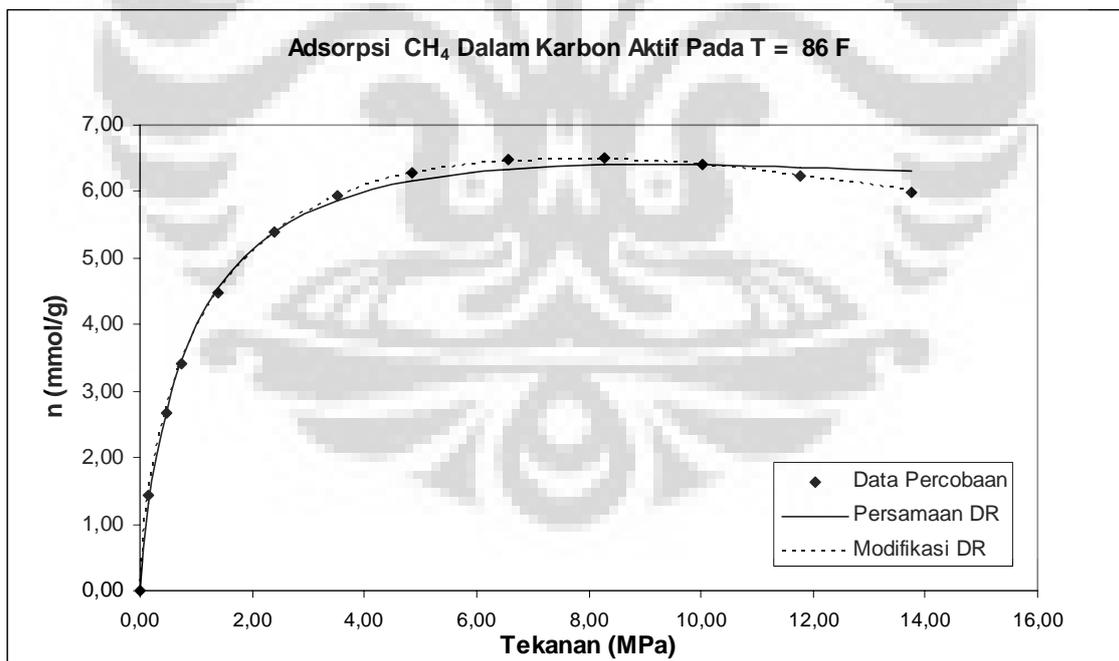
Lampiran A.8.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 86 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	6,407091026	8,5673836
P _{Si}	9,020936415	30,874502
D	0,098771372	0,0647333
r _{ads}	0	24,428842

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
86	30,0	0,162	0,064	1,435	1,299	1,435	9,48	0,00
86	30,0	0,462	0,185	2,678	2,678	2,711	0,00	1,23
86	30,0	0,745	0,299	3,416	3,465	3,447	1,45	0,91
86	30,0	1,396	0,566	4,478	4,543	4,499	1,45	0,48
86	30,0	2,399	0,990	5,388	5,388	5,388	0,00	0,01
86	30,0	3,527	1,482	5,929	5,873	5,934	0,95	0,08
86	30,0	4,854	2,084	6,274	6,169	6,279	1,68	0,08
86	30,0	6,554	2,889	6,485	6,343	6,466	2,19	0,29
86	30,0	8,284	3,741	6,505	6,402	6,486	1,58	0,29
86	30,0	10,028	4,626	6,400	6,400	6,399	0,00	0,01
86	30,0	11,766	5,519	6,244	6,363	6,244	1,90	0,00
86	30,0	13,748	6,536	5,974	6,296	6,015	5,39	0,68

AAPD	2,17
AAPDm	0,34



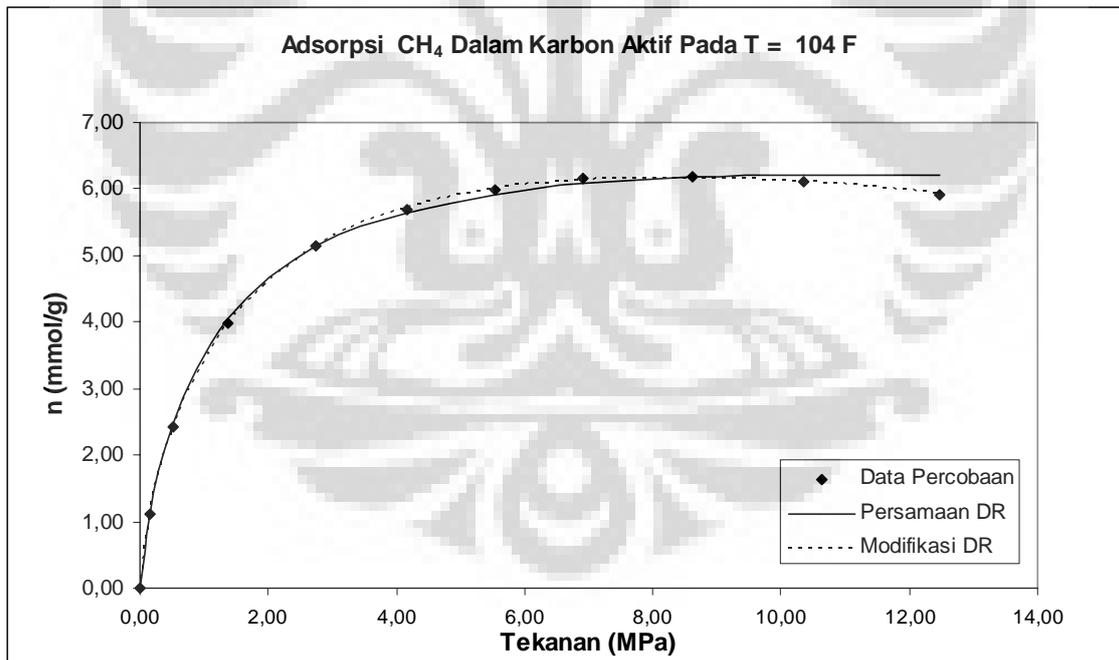
Lampiran A.8.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 104 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	6,222057615	8,2179607
P _{Si}	11,37855733	30,760994
D	0,0953549	0,0726417
r _{ads}	0	23,848666

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
104	40,0	0,162	0,062	1,110	1,110	1,110	0,00	0,00
104	40,0	0,507	0,196	2,417	2,472	2,395	2,27	0,91
104	40,0	1,376	0,539	3,983	4,065	3,983	2,06	0,00
104	40,0	2,751	1,099	5,134	5,134	5,133	0,00	0,01
104	40,0	4,158	1,694	5,694	5,649	5,707	0,79	0,23
104	40,0	5,543	2,302	5,982	5,923	5,998	0,99	0,28
104	40,0	6,915	2,923	6,155	6,077	6,134	1,27	0,35
104	40,0	8,625	3,718	6,180	6,177	6,168	0,05	0,19
104	40,0	10,349	4,537	6,105	6,217	6,105	1,83	0,00
104	40,0	12,483	5,559	5,923	6,217	5,941	4,96	0,30

AAPD	1,42
AAPDm	0,23



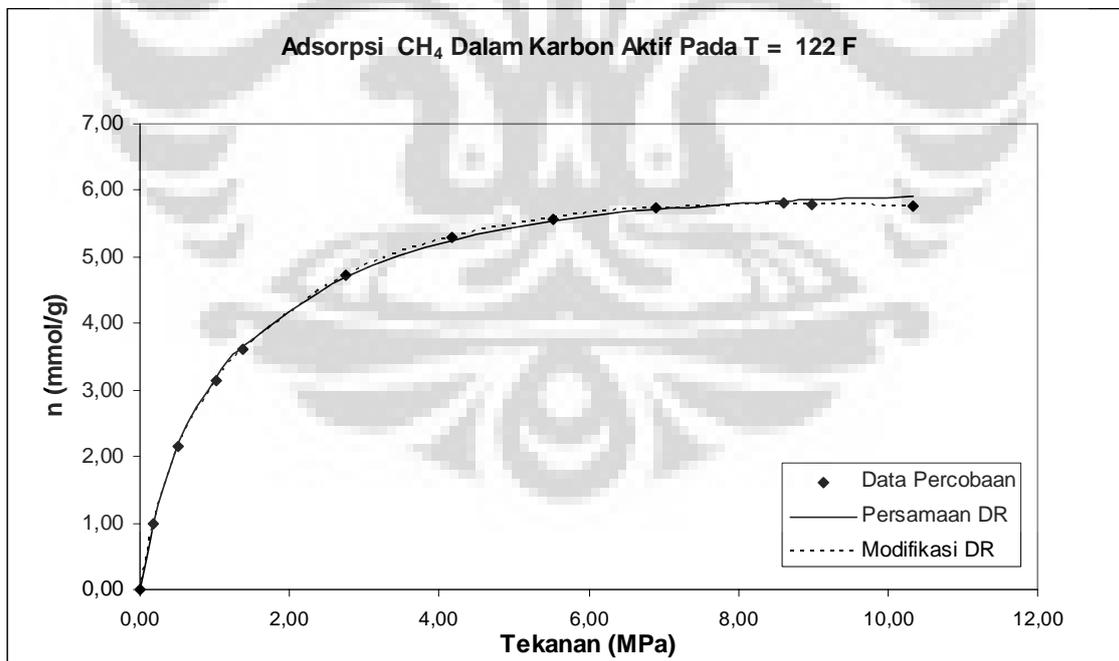
Lampiran A.8.5

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada T= 122 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,957978438	7,7121111
P _{Si}	13,39413479	30,974998
D	0,094486103	0,0758691
r _{ads}	0	23,672224

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50,0	0,169	0,063	0,978	0,978	0,980	0,00	0,18
122	50,0	0,517	0,194	2,153	2,190	2,146	1,74	0,31
122	50,0	1,031	0,389	3,152	3,201	3,151	1,54	0,03
122	50,0	1,380	0,523	3,623	3,658	3,619	0,95	0,11
122	50,0	2,751	1,060	4,722	4,702	4,722	0,42	0,00
122	50,0	4,175	1,636	5,285	5,240	5,293	0,85	0,16
122	50,0	5,514	2,196	5,576	5,531	5,582	0,81	0,10
122	50,0	6,888	2,784	5,730	5,714	5,733	0,28	0,05
122	50,0	8,612	3,540	5,809	5,849	5,792	0,69	0,29
122	50,0	8,991	3,709	5,791	5,869	5,791	1,35	0,00
122	50,0	10,342	4,312	5,761	5,920	5,757	2,77	0,07
122	50,0	12,073	5,089	5,665	5,952	5,660	5,06	0,09
122	50,0	13,779	5,852	5,545	5,958	5,524	7,44	0,38

AAPD	1,04
AAPDm	0,12



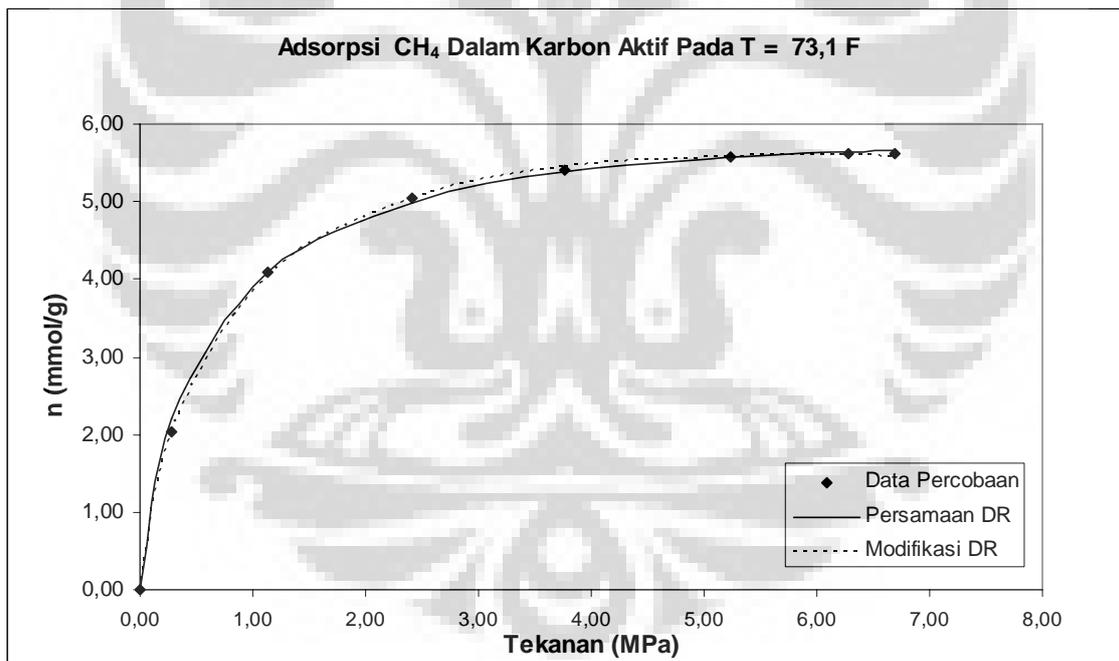
Lampiran A.9.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 73,1 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,703138418	6,5563912
P _{Si}	8,939495584	12,891298
D	0,078680094	0,0790021
r _{ads}	0	25,512524

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
73,1	22,8	0,276	0,113	2,030	2,201	2,030	8,43	0,03
73,1	22,8	1,138	0,472	4,082	4,082	4,040	0,00	1,04
73,1	22,8	2,413	1,024	5,041	4,983	5,041	1,15	0,00
73,1	22,8	3,758	1,633	5,398	5,376	5,442	0,42	0,82
73,1	22,8	5,240	2,339	5,577	5,577	5,586	0,00	0,16
73,1	22,8	6,274	2,852	5,621	5,647	5,590	0,46	0,56
73,1	22,8	6,688	3,061	5,621	5,665	5,577	0,79	0,79

AAPD	1,61
AAPDm	0,49



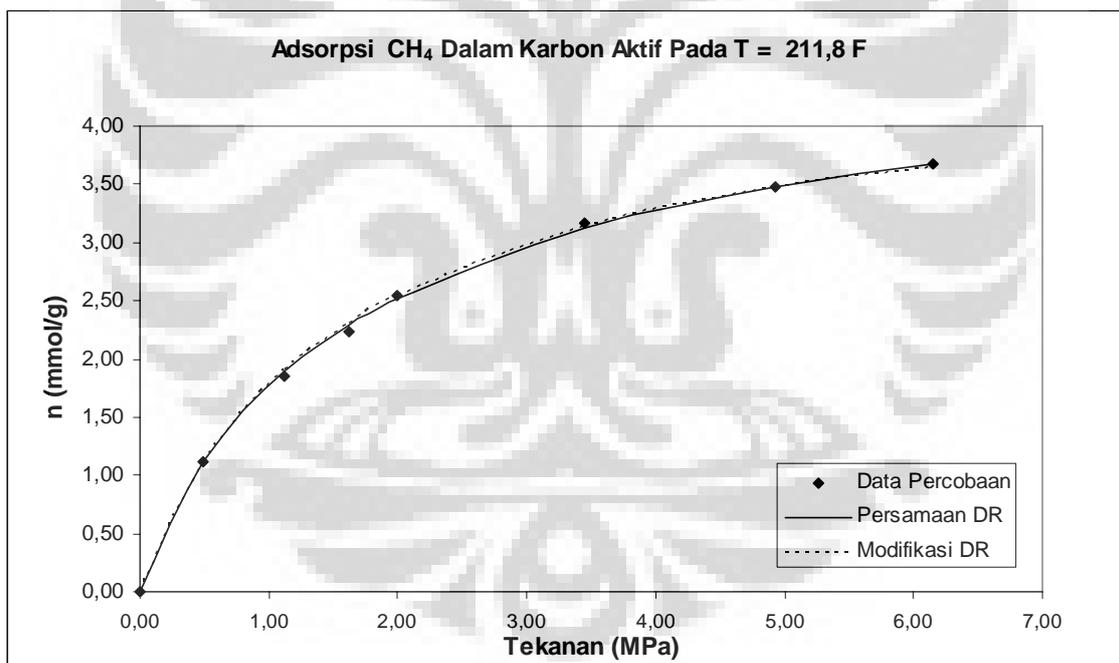
Lampiran A.9.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 211,8 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	4,25779435	4,9275872
P _{Si}	21,52974455	29,970576
D	0,092873267	0,0868055
r _{ads}	0	26,008656

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
211,8	99,9	0,483	0,156	1,115	1,115	1,115	0,00	0,00
211,8	99,9	1,124	0,365	1,852	1,895	1,906	2,33	2,93
211,8	99,9	1,620	0,528	2,231	2,287	2,306	2,53	3,37
211,8	99,9	1,999	0,653	2,543	2,520	2,543	0,91	0,02
211,8	99,9	3,447	1,136	3,168	3,118	3,140	1,57	0,87
211,8	99,9	4,930	1,638	3,480	3,480	3,480	0,01	0,00
211,8	99,9	6,157	2,059	3,681	3,681	3,651	0,01	0,81

AAPD	1,05
AAPDm	1,14



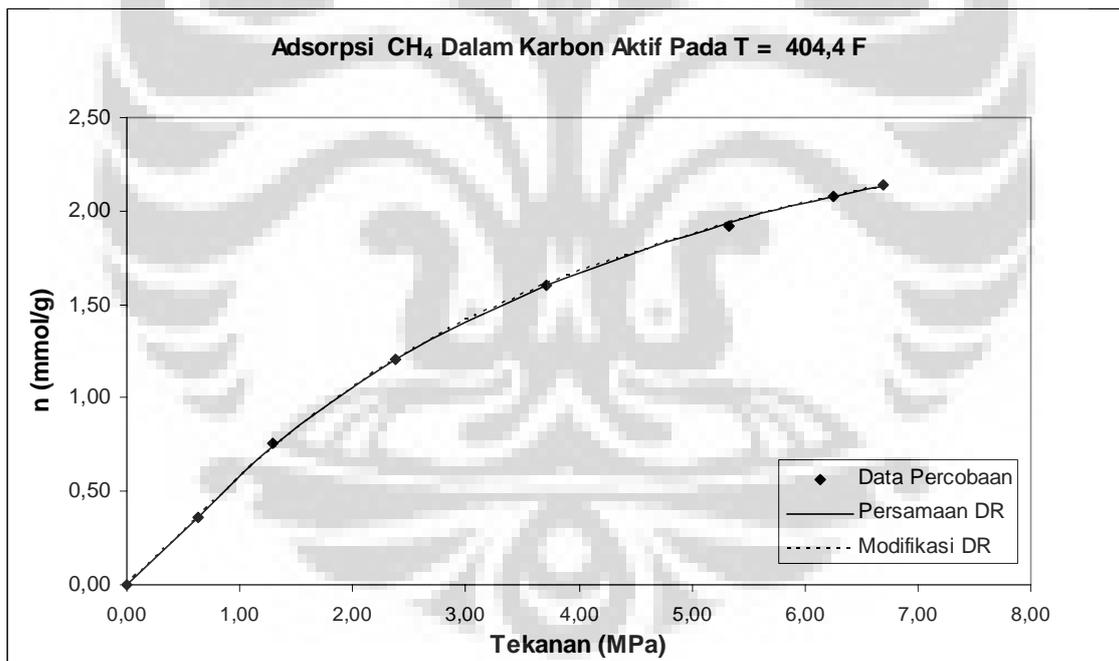
Lampiran A.9.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 404,4 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,696985652	3,2035309
P _{Si}	22,60715708	30,932505
D	0,158620179	0,1452463
r _{ads}	0	25,996607

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
404,4	206,9	0,638	0,160	0,357	0,358	0,357	0,31	0,00
404,4	206,9	1,296	0,325	0,758	0,738	0,733	2,73	3,30
404,4	206,9	2,379	0,597	1,205	1,207	1,204	0,18	0,09
404,4	206,9	3,709	0,931	1,606	1,606	1,607	0,02	0,06
404,4	206,9	5,330	1,337	1,918	1,937	1,939	0,95	1,09
404,4	206,9	6,247	1,567	2,075	2,075	2,076	0,00	0,06
404,4	206,9	6,688	1,677	2,142	2,132	2,132	0,47	0,46

AAPD	0,66
AAPDm	0,72



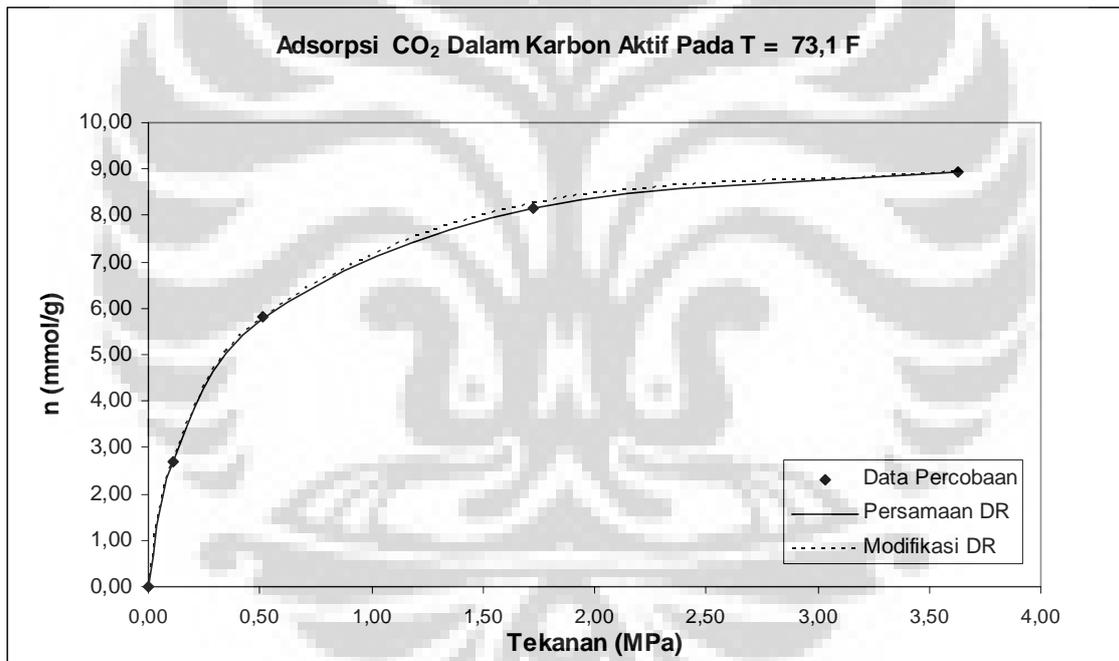
Lampiran A.10.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 73,1 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	9,024717682	10,230332
P _{Si}	5,270278917	8,327583
D	0,081296418	0,0716307
r _{ads}	0	22,56616

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
73,1	22,8	0,111	0,045	2,686	2,687	2,686	0,06	0,00
73,1	22,8	0,511	0,213	5,800	5,796	5,800	0,06	0,00
73,1	22,8	1,724	0,773	8,164	8,153	8,271	0,13	1,31
73,1	22,8	3,627	1,885	8,923	8,923	8,923	0,00	0,00

AAPD	0,06
AAPDm	0,33



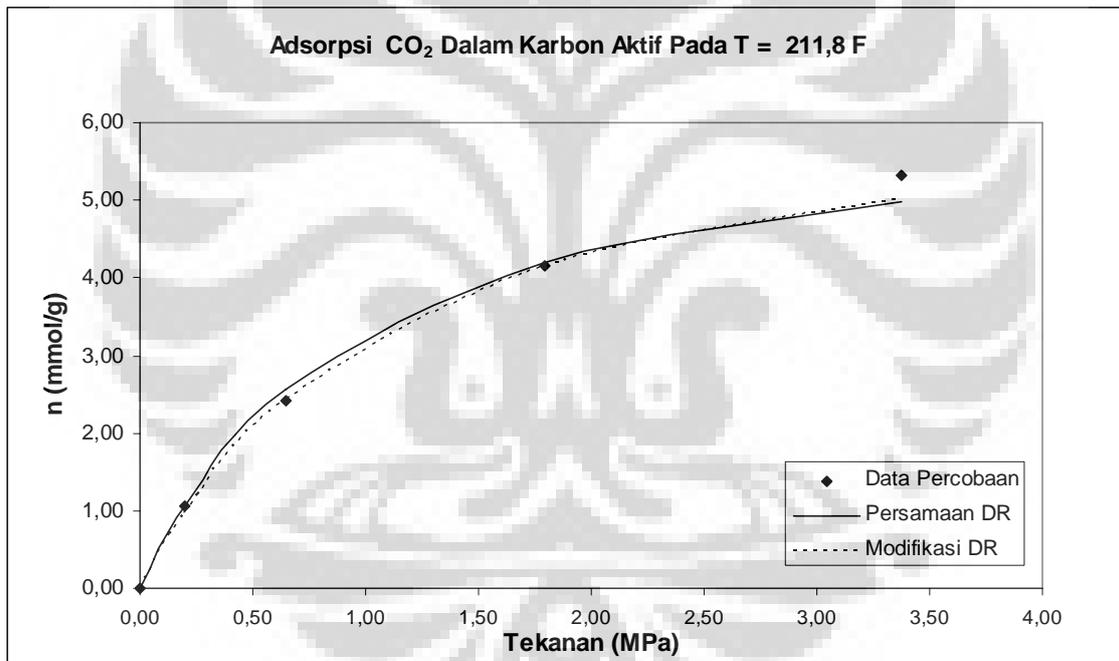
Lampiran A.10.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 211,8 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,362579034	6,2515207
P _{Si}	7,172212495	11,013029
D	0,126609933	0,1152962
r _{ads}	0	22,000548

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
211,8	99,9	0,201	0,065	1,062	1,062	0,980	0,00	7,67
211,8	99,9	0,645	0,211	2,423	2,573	2,448	6,23	1,04
211,8	99,9	1,793	0,604	4,158	4,204	4,158	1,11	0,00
211,8	99,9	3,378	1,185	5,322	4,991	5,035	6,22	5,40

AAPD	3,39
AAPDm	3,53



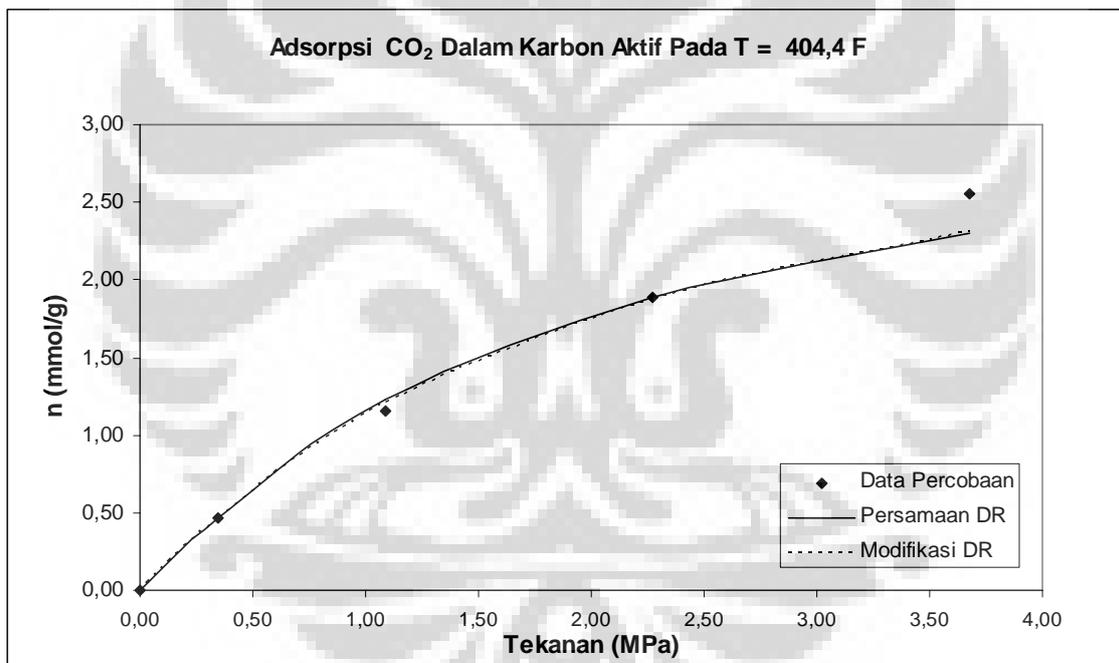
Lampiran A.10.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 404,4 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,860680439	3,5127346
P _{Si}	12,86662887	21,994767
D	0,138886139	0,1170025
r _{ads}	0	23,020626

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
404,4	206,9	0,348	0,088	0,468	0,468	0,468	0,01	0,00
404,4	206,9	1,089	0,276	1,151	1,227	1,206	6,58	4,82
404,4	206,9	2,268	0,580	1,883	1,883	1,872	0,00	0,56
404,4	206,9	3,675	0,951	2,552	2,300	2,315	9,87	9,26

AAPD	4,12
AAPDm	3,66



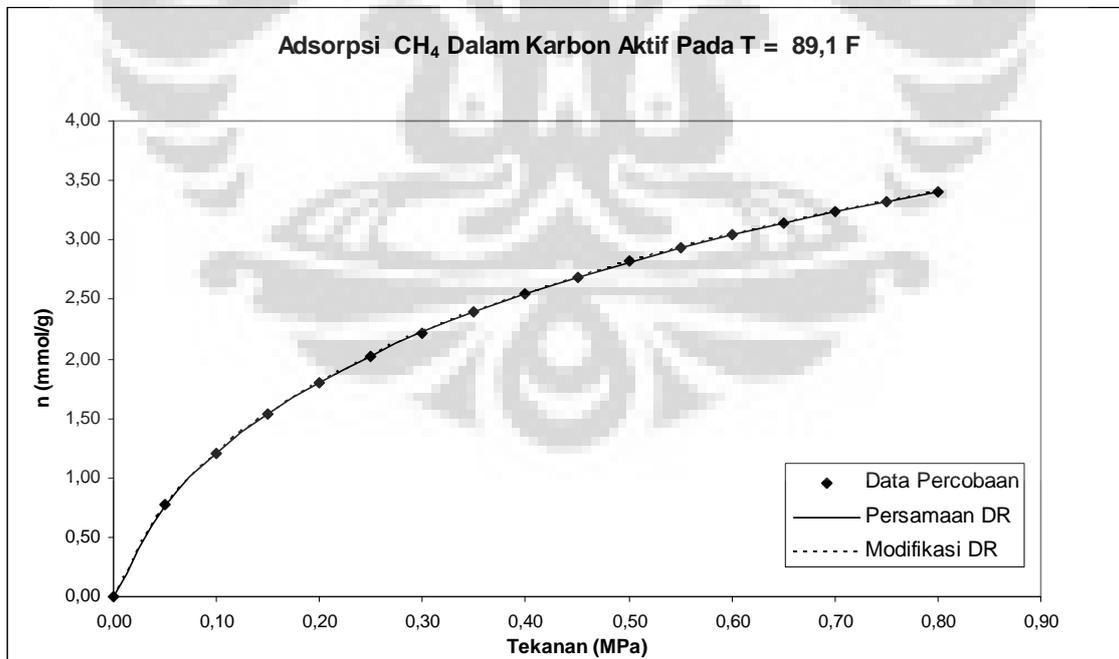
Lampiran A.11.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
 Pada T= 89,1 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	6,424069824	6,6299001
P _{Si}	22,23972542	23,449332
D	0,057269507	0,0572797
r _{ads}	0	25,71208

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
89,1	31,7	0,050	0,020	0,772	0,764	0,759	1,05	1,71
89,1	31,7	0,100	0,040	1,206	1,206	1,202	0,00	0,32
89,1	31,7	0,150	0,059	1,532	1,536	1,533	0,23	0,08
89,1	31,7	0,200	0,079	1,801	1,802	1,801	0,05	0,00
89,1	31,7	0,250	0,099	2,025	2,027	2,027	0,09	0,09
89,1	31,7	0,300	0,119	2,221	2,222	2,223	0,03	0,07
89,1	31,7	0,350	0,139	2,394	2,394	2,395	0,00	0,05
89,1	31,7	0,400	0,159	2,549	2,548	2,550	0,03	0,03
89,1	31,7	0,450	0,179	2,689	2,688	2,690	0,04	0,02
89,1	31,7	0,500	0,199	2,817	2,816	2,817	0,04	0,00
89,1	31,7	0,550	0,219	2,935	2,935	2,934	0,06	0,03
89,1	31,7	0,600	0,240	3,043	3,042	3,042	0,03	0,03
89,1	31,7	0,650	0,260	3,142	3,144	3,142	0,05	0,01
89,1	31,7	0,700	0,280	3,236	3,238	3,236	0,07	0,00
89,1	31,7	0,750	0,300	3,324	3,327	3,324	0,09	0,01
89,1	31,7	0,800	0,321	3,406	3,411	3,406	0,14	0,01

AAPD	0,12
AAPDm	0,16



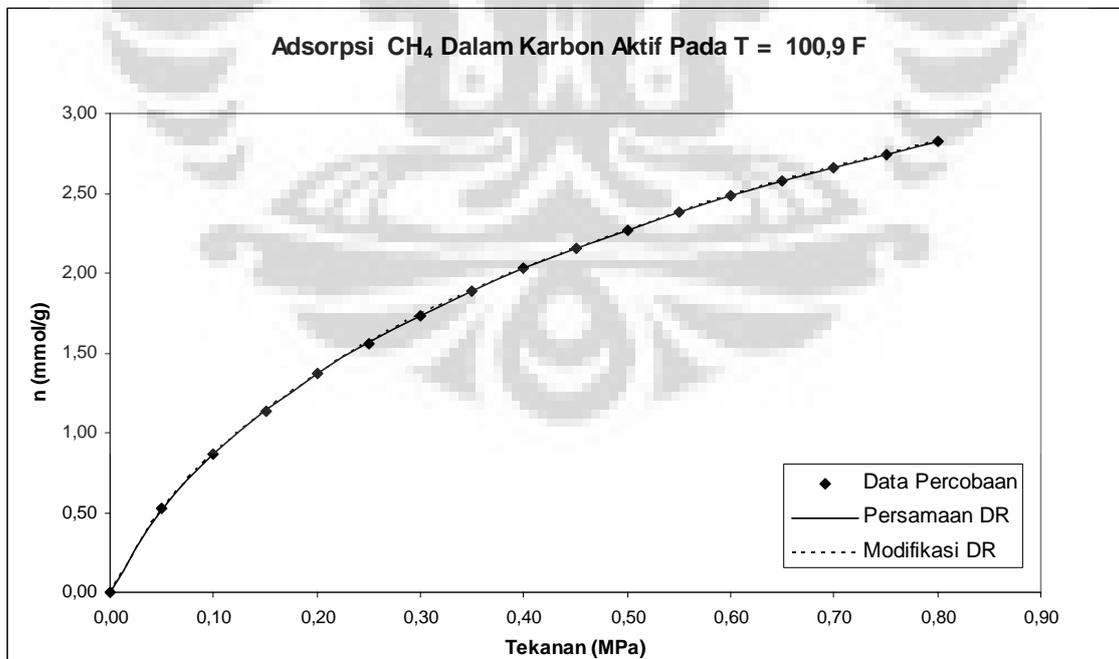
Lampiran A.11.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 100,9 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,874357626	6,1752739
P _{Si}	23,57157369	26,544963
D	0,064005487	0,062862
r _{ads}	0	25,572887

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
100,9	38,3	0,050	0,019	0,528	0,520	0,519	1,60	1,63
100,9	38,3	0,100	0,039	0,870	0,870	0,870	0,01	0,00
100,9	38,3	0,150	0,058	1,139	1,143	1,144	0,35	0,40
100,9	38,3	0,200	0,078	1,366	1,370	1,371	0,27	0,35
100,9	38,3	0,250	0,097	1,560	1,565	1,566	0,30	0,40
100,9	38,3	0,300	0,117	1,731	1,736	1,738	0,29	0,40
100,9	38,3	0,350	0,136	1,885	1,889	1,891	0,23	0,34
100,9	38,3	0,400	0,156	2,028	2,028	2,030	0,00	0,11
100,9	38,3	0,450	0,175	2,152	2,155	2,157	0,12	0,22
100,9	38,3	0,500	0,195	2,269	2,271	2,273	0,10	0,18
100,9	38,3	0,550	0,215	2,381	2,379	2,381	0,08	0,01
100,9	38,3	0,600	0,234	2,484	2,480	2,481	0,18	0,13
100,9	38,3	0,650	0,254	2,574	2,574	2,574	0,02	0,00
100,9	38,3	0,700	0,274	2,662	2,662	2,662	0,01	0,01
100,9	38,3	0,750	0,294	2,747	2,745	2,744	0,07	0,11
100,9	38,3	0,800	0,313	2,827	2,824	2,822	0,12	0,19

AAPD	0,23
AAPDm	0,28



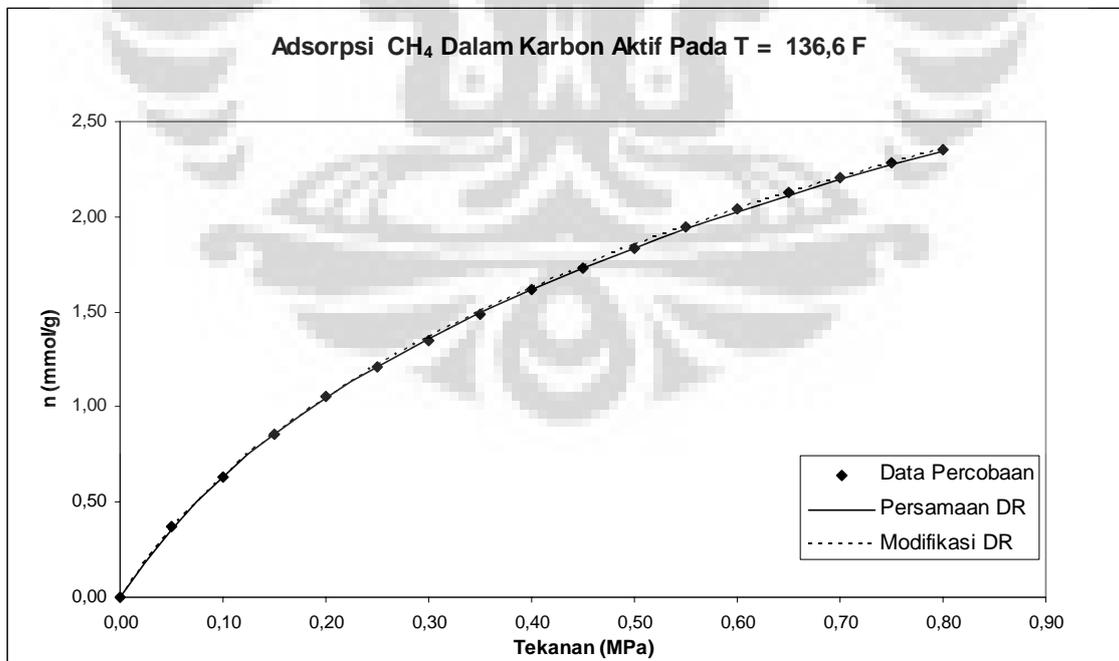
Lampiran A.11.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 136,6 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,604353678	5,6429324
P _{Si}	28,33789575	26,86524
D	0,068394	0,0698798
r _{ads}	0	26,01639

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
136,6	58,1	0,050	0,018	0,373	0,359	0,356	3,86	4,48
136,6	58,1	0,100	0,036	0,633	0,633	0,633	0,00	0,00
136,6	58,1	0,150	0,055	0,855	0,856	0,859	0,13	0,42
136,6	58,1	0,200	0,073	1,052	1,046	1,051	0,54	0,11
136,6	58,1	0,250	0,091	1,209	1,213	1,219	0,33	0,85
136,6	58,1	0,300	0,110	1,350	1,362	1,369	0,87	1,44
136,6	58,1	0,350	0,128	1,485	1,496	1,505	0,76	1,35
136,6	58,1	0,400	0,146	1,618	1,619	1,629	0,09	0,67
136,6	58,1	0,450	0,165	1,731	1,733	1,743	0,11	0,68
136,6	58,1	0,500	0,183	1,838	1,838	1,848	0,00	0,55
136,6	58,1	0,550	0,202	1,948	1,936	1,946	0,61	0,09
136,6	58,1	0,600	0,220	2,038	2,028	2,038	0,48	0,00
136,6	58,1	0,650	0,238	2,124	2,115	2,124	0,44	0,00
136,6	58,1	0,700	0,257	2,207	2,196	2,205	0,48	0,09
136,6	58,1	0,750	0,275	2,282	2,274	2,282	0,37	0,02
136,6	58,1	0,800	0,294	2,354	2,347	2,354	0,29	0,00

AAPD	0,59
AAPDm	0,67



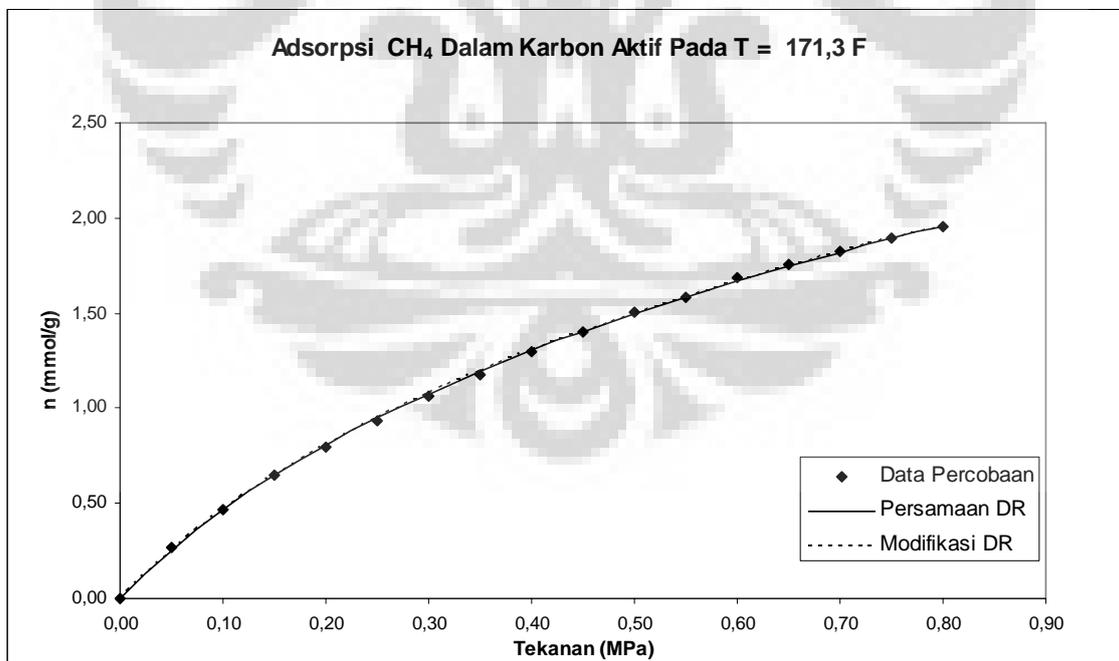
Lampiran A.11.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 171,3 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,181680086	5,2790798
P _{Si}	29,89780834	29,926016
D	0,074209472	0,0747762
r _{ads}	0	26,032683

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
171,3	77,4	0,050	0,017	0,265	0,249	0,248	5,85	6,43
171,3	77,4	0,100	0,034	0,468	0,465	0,464	0,69	0,88
171,3	77,4	0,150	0,052	0,647	0,647	0,647	0,00	0,00
171,3	77,4	0,200	0,069	0,797	0,806	0,807	1,15	1,26
171,3	77,4	0,250	0,086	0,934	0,948	0,950	1,51	1,67
171,3	77,4	0,300	0,103	1,066	1,076	1,079	0,98	1,18
171,3	77,4	0,350	0,121	1,180	1,194	1,196	1,17	1,39
171,3	77,4	0,400	0,138	1,295	1,302	1,305	0,55	0,77
171,3	77,4	0,450	0,155	1,400	1,403	1,406	0,19	0,40
171,3	77,4	0,500	0,173	1,503	1,497	1,499	0,43	0,24
171,3	77,4	0,550	0,190	1,579	1,585	1,587	0,36	0,53
171,3	77,4	0,600	0,208	1,686	1,668	1,670	1,09	0,95
171,3	77,4	0,650	0,225	1,752	1,746	1,748	0,34	0,23
171,3	77,4	0,700	0,242	1,822	1,820	1,822	0,09	0,01
171,3	77,4	0,750	0,260	1,896	1,891	1,892	0,26	0,22
171,3	77,4	0,800	0,277	1,959	1,958	1,958	0,03	0,03

AAPD	0,92
AAPDm	1,01



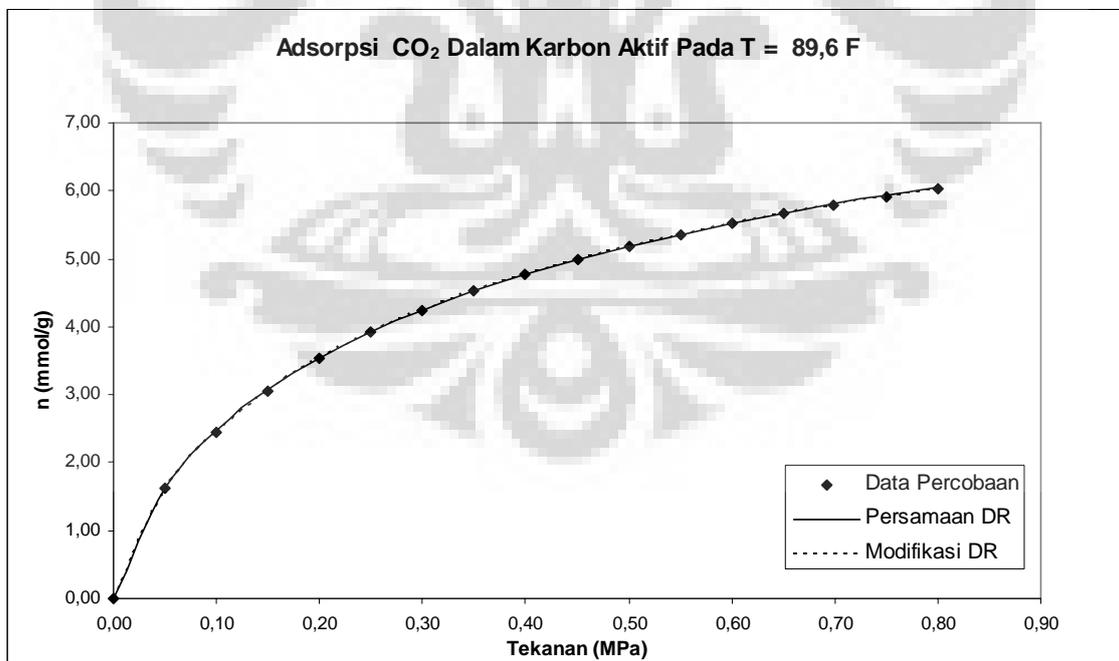
Lampiran A.12.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 89,6 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,506081869	8,7283668
P _{Si}	8,013805886	8,270761
D	0,064315262	0,0649531
r _{ads}	0	22,277766

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	$\rho_{\text{gas}}(\text{mol/liter})$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
89,6	32,0	0,050	0,020	1,632	1,621	1,601	0,67	1,90
89,6	32,0	0,100	0,040	2,456	2,471	2,456	0,63	0,00
89,6	32,0	0,150	0,060	3,052	3,074	3,063	0,71	0,37
89,6	32,0	0,200	0,080	3,532	3,542	3,536	0,29	0,12
89,6	32,0	0,250	0,100	3,923	3,926	3,923	0,06	0,00
89,6	32,0	0,300	0,120	4,249	4,249	4,249	0,00	0,00
89,6	32,0	0,349	0,140	4,530	4,523	4,524	0,16	0,13
89,6	32,0	0,400	0,161	4,781	4,773	4,775	0,17	0,13
89,6	32,0	0,450	0,181	4,997	4,990	4,992	0,14	0,09
89,6	32,0	0,500	0,202	5,189	5,185	5,187	0,08	0,04
89,6	32,0	0,550	0,223	5,365	5,361	5,362	0,07	0,06
89,6	32,0	0,600	0,243	5,522	5,522	5,521	0,01	0,02
89,6	32,0	0,650	0,264	5,665	5,669	5,666	0,07	0,01
89,6	32,0	0,699	0,285	5,796	5,801	5,796	0,09	0,00
89,6	32,0	0,750	0,306	5,916	5,929	5,921	0,22	0,08
89,6	32,0	0,800	0,328	6,027	6,045	6,034	0,30	0,11

AAPD	0,23
AAPDm	0,19



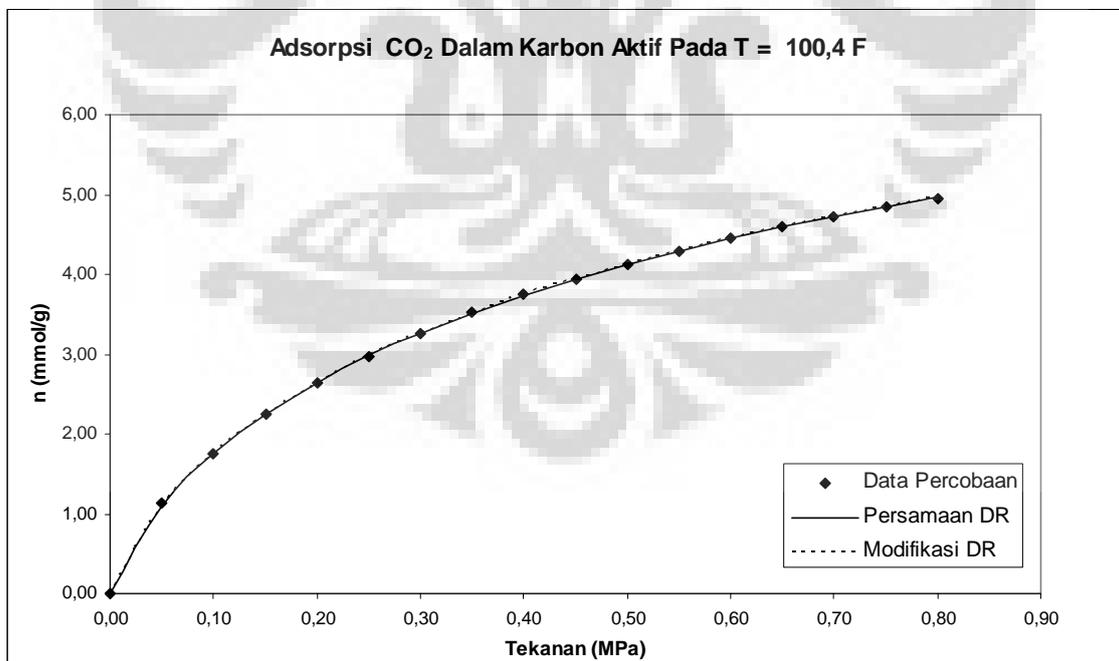
Lampiran A.12.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 100,4 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,209106049	8,7751219
P _{Si}	12,80585175	15,593654
D	0,065394819	0,0629659
r _{ads}	0	22,625053

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
100,4	38,0	0,050	0,019	1,132	1,099	1,099	2,95	2,89
100,4	38,0	0,100	0,039	1,759	1,760	1,759	0,07	0,00
100,4	38,0	0,150	0,058	2,243	2,252	2,251	0,42	0,36
100,4	38,0	0,200	0,078	2,642	2,648	2,647	0,24	0,20
100,4	38,0	0,250	0,098	2,972	2,980	2,980	0,28	0,27
100,4	38,0	0,300	0,118	3,267	3,267	3,267	0,01	0,00
100,4	38,0	0,349	0,137	3,522	3,513	3,514	0,25	0,22
100,4	38,0	0,400	0,157	3,747	3,742	3,743	0,14	0,09
100,4	38,0	0,450	0,177	3,946	3,943	3,946	0,07	0,01
100,4	38,0	0,500	0,198	4,130	4,127	4,129	0,08	0,02
100,4	38,0	0,550	0,218	4,297	4,294	4,297	0,06	0,01
100,4	38,0	0,600	0,238	4,452	4,449	4,451	0,07	0,02
100,4	38,0	0,650	0,259	4,591	4,592	4,593	0,01	0,05
100,4	38,0	0,699	0,279	4,722	4,722	4,723	0,00	0,02
100,4	38,0	0,750	0,300	4,845	4,849	4,849	0,07	0,08
100,4	38,0	0,800	0,321	4,956	4,965	4,964	0,18	0,16

AAPD	0,31
AAPDm	0,28



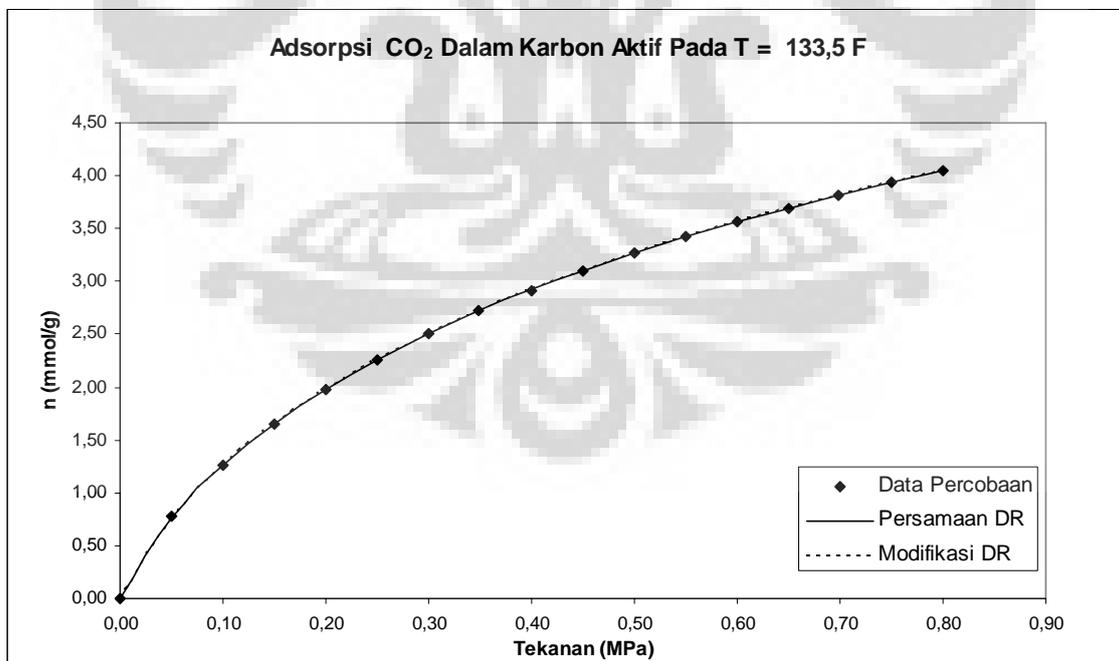
Lampiran A.12.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 133,5 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	8,149165717	8,4127354
P _{Si}	21,40690547	22,2246
D	0,064745902	0,0650631
r _{ads}	0	22,05163

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	$\rho_{\text{gas}}(\text{mol/liter})$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
133,5	56,4	0,050	0,018	0,773	0,756	0,749	2,16	3,17
133,5	56,4	0,100	0,037	1,263	1,263	1,256	0,01	0,53
133,5	56,4	0,150	0,055	1,652	1,656	1,652	0,25	0,02
133,5	56,4	0,200	0,074	1,979	1,982	1,979	0,14	0,01
133,5	56,4	0,250	0,092	2,258	2,261	2,260	0,13	0,09
133,5	56,4	0,300	0,111	2,506	2,506	2,506	0,00	0,01
133,5	56,4	0,349	0,129	2,721	2,720	2,722	0,02	0,02
133,5	56,4	0,400	0,148	2,919	2,922	2,924	0,11	0,16
133,5	56,4	0,450	0,167	3,103	3,102	3,104	0,03	0,03
133,5	56,4	0,500	0,186	3,274	3,268	3,269	0,19	0,14
133,5	56,4	0,550	0,205	3,424	3,421	3,422	0,09	0,06
133,5	56,4	0,600	0,224	3,567	3,563	3,563	0,11	0,10
133,5	56,4	0,650	0,243	3,696	3,696	3,695	0,00	0,02
133,5	56,4	0,699	0,262	3,816	3,818	3,816	0,06	0,00
133,5	56,4	0,750	0,281	3,938	3,938	3,934	0,00	0,10
133,5	56,4	0,800	0,301	4,043	4,049	4,043	0,15	0,00

AAPD	0,22
AAPDm	0,28



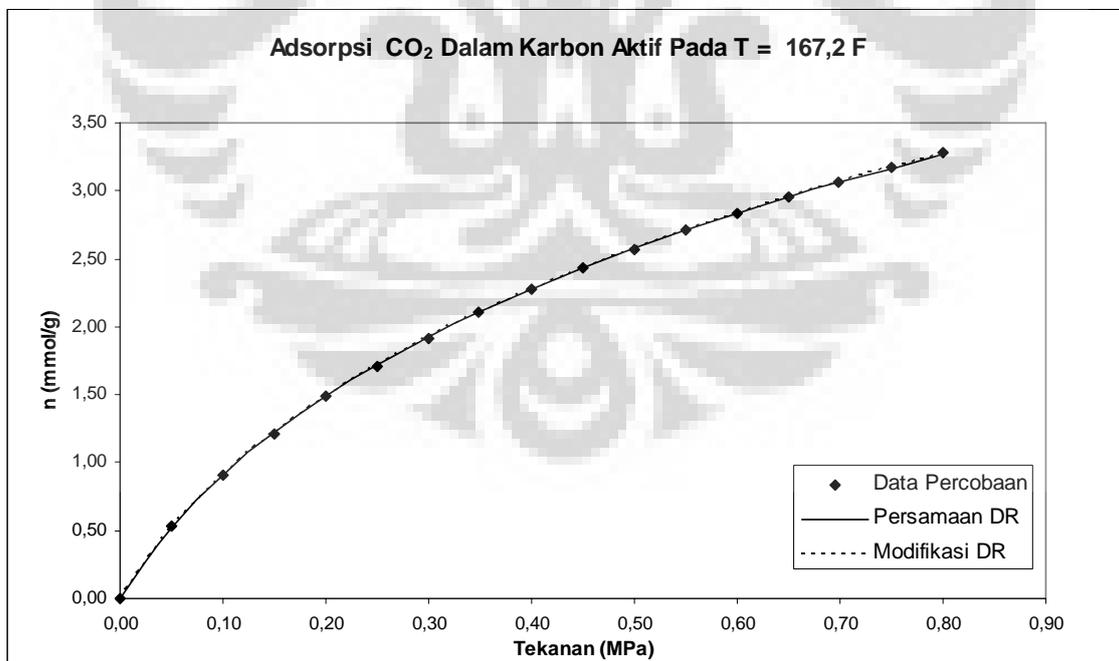
Lampiran A.12.4

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 167,2 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	7,249029764	8,1638073
P _{Si}	23,77446049	33,290583
D	0,069358356	0,064967
r _{ads}	0	23,023557

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
167,2	75,1	0,050	0,017	0,535	0,520	0,524	2,88	2,10
167,2	75,1	0,100	0,035	0,911	0,909	0,911	0,21	0,00
167,2	75,1	0,150	0,052	1,214	1,223	1,223	0,71	0,74
167,2	75,1	0,200	0,069	1,488	1,488	1,488	0,00	0,03
167,2	75,1	0,250	0,087	1,713	1,719	1,718	0,36	0,32
167,2	75,1	0,300	0,105	1,916	1,925	1,924	0,45	0,42
167,2	75,1	0,349	0,122	2,103	2,106	2,106	0,16	0,14
167,2	75,1	0,400	0,140	2,273	2,279	2,278	0,24	0,24
167,2	75,1	0,450	0,158	2,432	2,433	2,434	0,06	0,08
167,2	75,1	0,500	0,175	2,571	2,577	2,578	0,22	0,26
167,2	75,1	0,550	0,193	2,712	2,710	2,712	0,07	0,02
167,2	75,1	0,600	0,211	2,836	2,835	2,837	0,05	0,03
167,2	75,1	0,650	0,229	2,951	2,951	2,954	0,01	0,11
167,2	75,1	0,699	0,247	3,063	3,059	3,063	0,12	0,01
167,2	75,1	0,750	0,265	3,178	3,166	3,169	0,39	0,28
167,2	75,1	0,800	0,283	3,280	3,264	3,268	0,49	0,36

AAPD	0,40
AAPDm	0,32



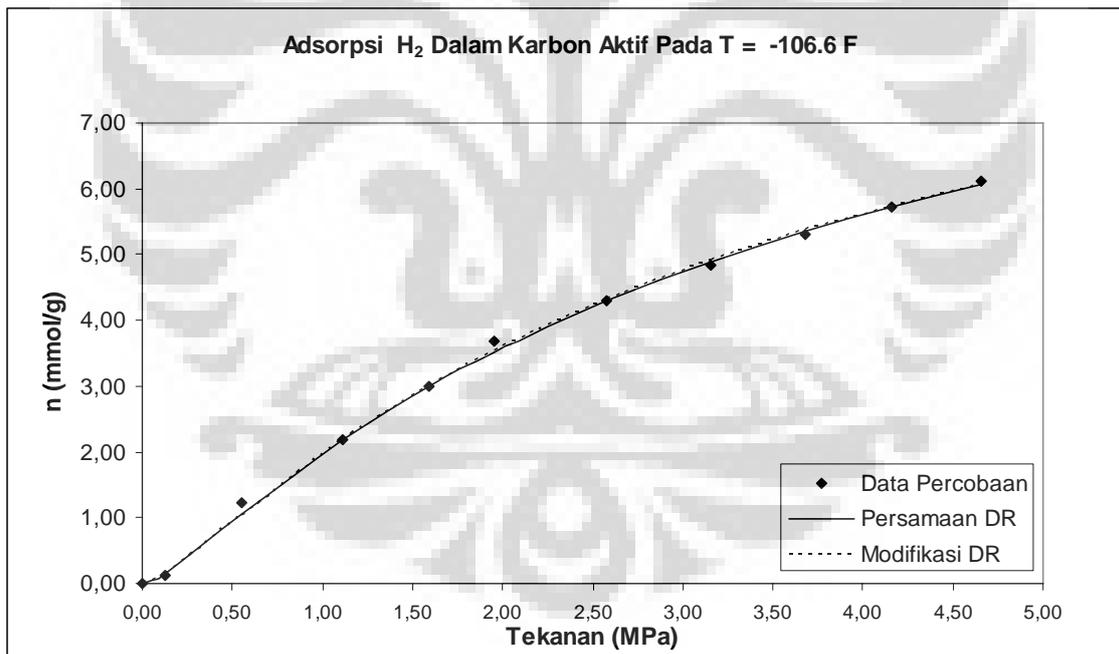
Lampiran A.13.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= -106,6 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	9,020901903	11,152369
P _{Si}	23,06769221	30,953228
D	0,154383471	0,1458118
r _{ads}	0	33,107339

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
196	-106,60	0,127	0,078	0,135	0,138	0,135	2,07	0,35
196	-106,60	0,552	0,338	1,231	1,050	1,038	14,69	15,65
196	-106,60	1,117	0,680	2,190	2,190	2,185	0,00	0,23
196	-106,60	1,594	0,967	2,999	2,995	3,001	0,12	0,07
196	-106,60	1,951	1,181	3,693	3,516	3,529	4,79	4,44
196	-106,60	2,578	1,553	4,297	4,298	4,318	0,01	0,49
196	-106,60	3,153	1,892	4,830	4,895	4,914	1,34	1,74
196	-106,60	3,680	2,200	5,305	5,362	5,374	1,08	1,31
196	-106,60	4,157	2,476	5,733	5,733	5,733	0,00	0,00
196	-106,60	4,655	2,762	6,120	6,074	6,057	0,75	1,04

AAPD	2,48
AAPDm	2,53



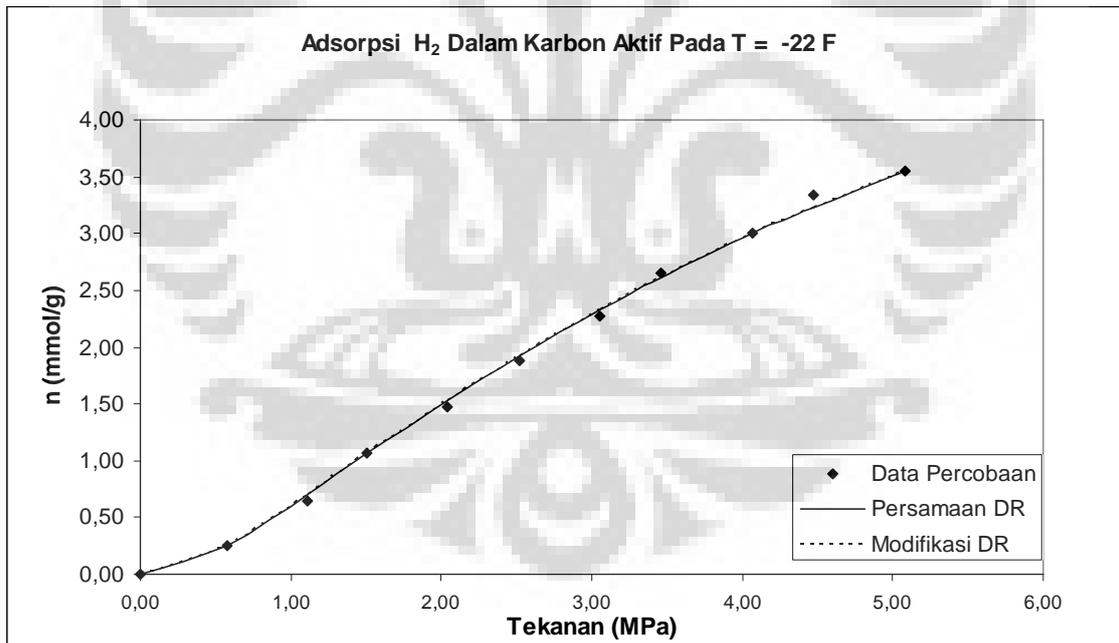
Lampiran A.13.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= -22 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,975958795	7,9020374
P _{Si}	22,14026344	32,164739
D	0,239846079	0,2122762
r _{ads}	0	32,933545

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	$\rho_{\text{gas}}(\text{mol/liter})$	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
243	-22,00	0,580	0,288	0,256	0,248	0,255	3,08	0,21
243	-22,00	1,110	0,544	0,641	0,697	0,701	8,75	9,35
243	-22,00	1,510	0,742	1,060	1,060	1,060	0,00	0,00
243	-22,00	2,040	0,996	1,479	1,528	1,525	3,33	3,09
243	-22,00	2,520	1,225	1,887	1,925	1,920	2,03	1,77
243	-22,00	3,050	1,480	2,279	2,329	2,324	2,18	1,96
243	-22,00	3,460	1,675	2,653	2,615	2,611	1,42	1,59
243	-22,00	4,070	1,963	3,008	3,003	3,000	0,16	0,28
243	-22,00	4,470	2,149	3,345	3,234	3,231	3,32	3,40
243	-22,00	5,080	2,431	3,554	3,554	3,552	0,01	0,07

AAPD	2,43
AAPDm	2,17



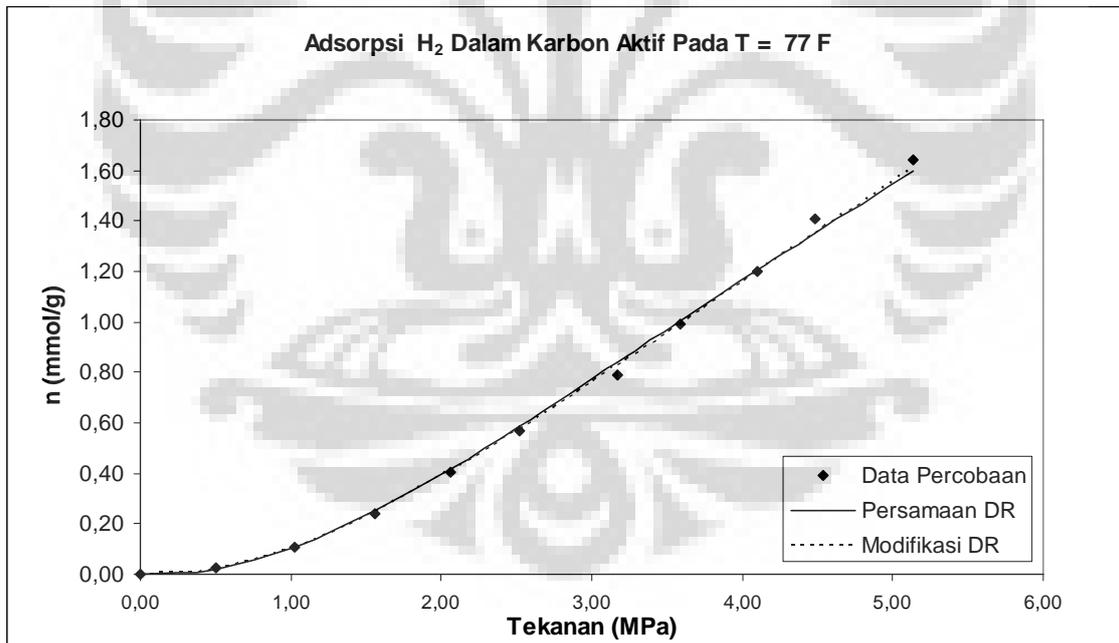
Lampiran A.13.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Karbon Aktif,
Pada T= 77 °F

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,139495743	10,031613
P _{Si}	36,57238198	74,935787
D	0,303114027	0,2458704
r _{ads}	0	33,088768

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
298	77,00	0,500	0,202	0,023	0,019	0,021	16,11	9,42
298	77,00	1,030	0,412	0,108	0,108	0,108	0,00	0,00
298	77,00	1,560	0,626	0,240	0,252	0,247	4,88	2,81
298	77,00	2,060	0,823	0,403	0,418	0,409	3,83	1,37
298	77,00	2,520	1,004	0,567	0,587	0,574	3,60	1,29
298	77,00	3,170	1,255	0,787	0,839	0,825	6,57	4,80
298	77,00	3,590	1,419	0,992	1,004	0,992	1,20	0,00
298	77,00	4,100	1,618	1,201	1,204	1,197	0,23	0,34
298	77,00	4,480	1,763	1,408	1,351	1,350	4,07	4,14
298	77,00	5,130	2,012	1,645	1,596	1,608	2,98	2,24

AAPD	4,35
AAPDm	2,64



Lampiran B Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Zeolit

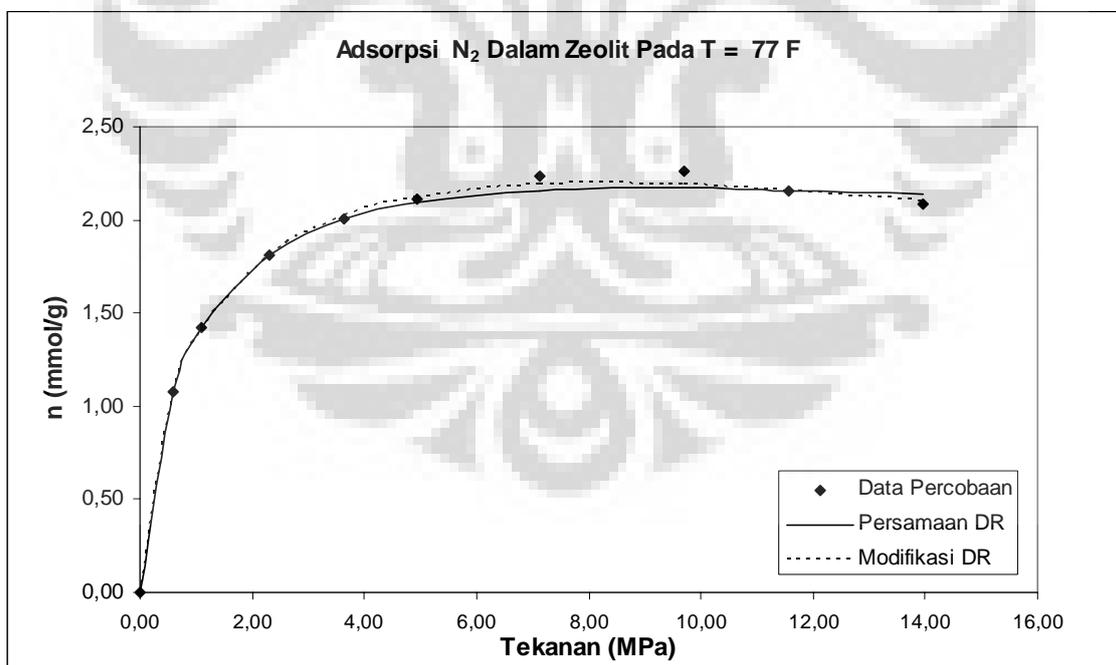
Lampiran B.1.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,170806373	2,6438315
P _{Si}	9,118226644	20,9083
D	0,094339006	0,0703445
r _{ads}	0	28,390716

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,600	0,242	1,080	1,080	1,080	0,01	0,00
77	25	1,095	0,443	1,418	1,421	1,411	0,19	0,48
77	25	2,301	0,932	1,815	1,815	1,815	0,00	0,00
77	25	3,628	1,471	2,001	2,004	2,020	0,12	0,96
77	25	4,926	1,996	2,108	2,095	2,122	0,65	0,65
77	25	7,115	2,878	2,239	2,158	2,189	3,60	2,21
77	25	9,700	3,902	2,262	2,170	2,188	4,06	3,27
77	25	11,554	4,621	2,159	2,159	2,159	0,00	0,00
77	25	13,946	5,524	2,082	2,134	2,105	2,51	1,11

AAPD	1,24
AAPDm	0,96



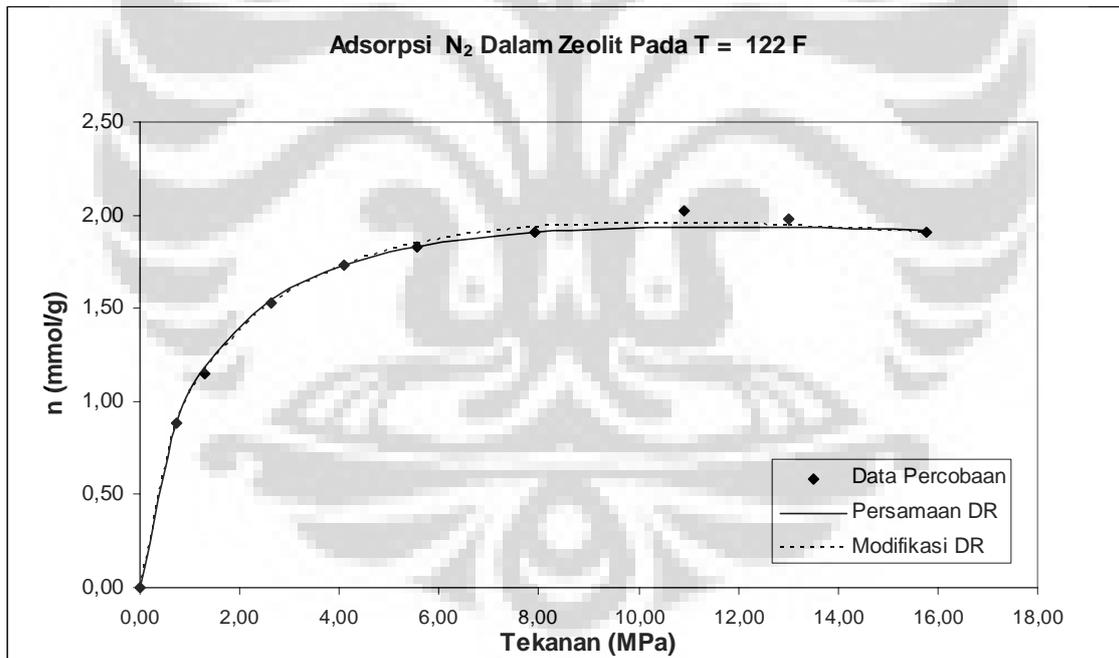
Lampiran B.1.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,934310764	2,4698372
P _{Si}	11,51196701	31,070654
D	0,103597981	0,0726903
r _{ads}	0	28,00007

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50	0,730	0,272	0,879	0,879	0,879	0,00	0,00
122	50	1,297	0,483	1,152	1,181	1,166	2,47	1,20
122	50	2,625	0,977	1,531	1,542	1,529	0,77	0,09
122	50	4,095	1,521	1,734	1,732	1,733	0,13	0,06
122	50	5,544	2,055	1,829	1,830	1,844	0,06	0,82
122	50	7,926	2,921	1,905	1,907	1,932	0,08	1,39
122	50	10,906	3,979	2,026	1,934	1,957	4,55	3,42
122	50	13,024	4,710	1,978	1,931	1,945	2,38	1,71
122	50	15,760	5,622	1,904	1,915	1,909	0,57	0,27

AAPD	1,22
AAPDm	0,99



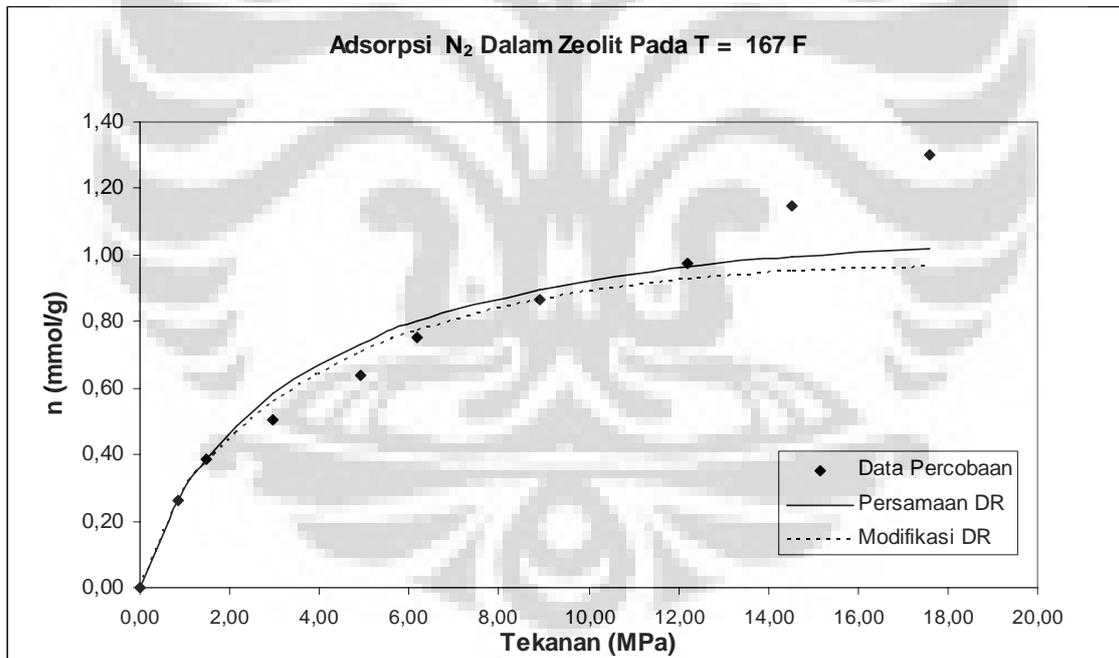
Lampiran B.1.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (5A) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,047749319	1,5548703
P _{Si}	28,98121625	108,63205
D	0,112983942	0,0759906
r _{ads}	0	28,393328

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
167	75	0,865	0,298	0,260	0,260	0,261	0,00	0,25
167	75	1,495	0,516	0,384	0,388	0,378	1,11	1,53
167	75	2,970	1,022	0,503	0,583	0,560	15,90	11,35
167	75	4,906	1,680	0,636	0,734	0,706	15,34	10,94
167	75	6,162	2,103	0,750	0,799	0,770	6,51	2,63
167	75	8,909	3,013	0,864	0,895	0,864	3,61	0,00
167	75	12,213	4,074	0,976	0,963	0,926	1,31	5,06
167	75	14,524	4,791	1,146	0,993	0,950	13,34	17,06
167	75	17,615	5,714	1,300	1,019	0,966	21,61	25,69

AAPD	8,75
AAPDm	8,28



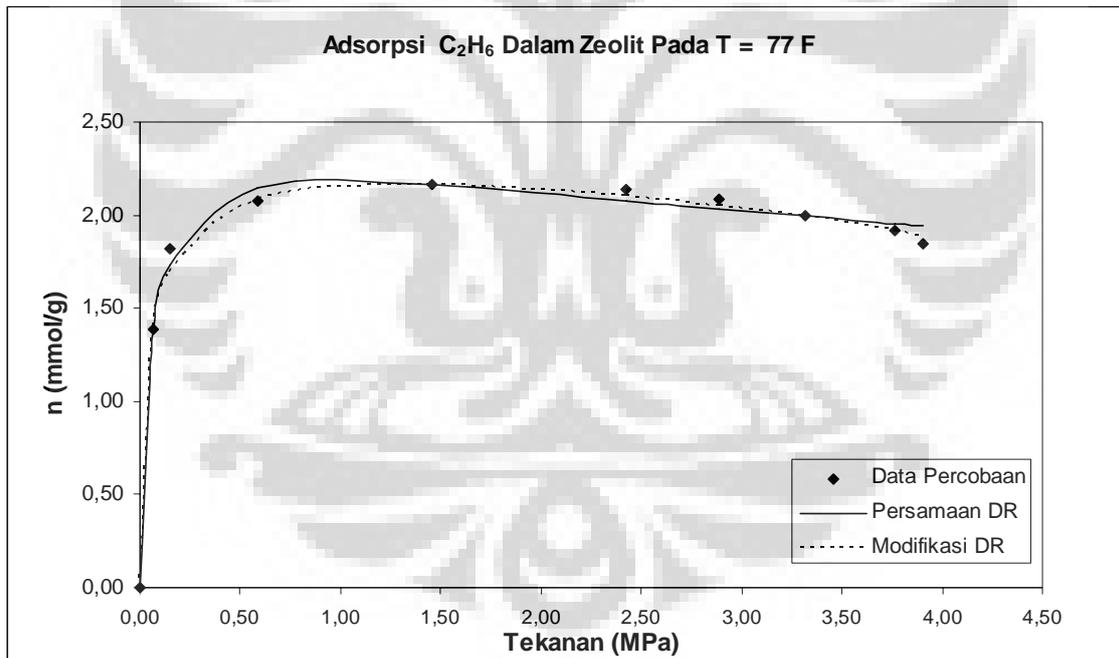
Lampiran B.2.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,185362359	2,2589373
P _{Si}	1,000487144	2,0537791
D	0,064192632	0,0413676
r _{ads}	0	18,267238

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,070	0,028	1,387	1,387	1,406	0,00	1,35
77	25	0,149	0,061	1,821	1,731	1,694	4,94	7,02
77	25	0,588	0,248	2,072	2,146	2,089	3,57	0,79
77	25	1,452	0,665	2,166	2,166	2,166	0,00	0,00
77	25	2,422	1,245	2,137	2,078	2,103	2,74	1,60
77	25	2,885	1,591	2,088	2,034	2,052	2,63	1,73
77	25	3,314	1,986	1,993	1,993	1,994	0,02	0,05
77	25	3,765	2,544	1,920	1,952	1,915	1,70	0,25
77	25	3,902	2,771	1,851	1,940	1,884	4,85	1,81

AAPD	2,27
AAPDm	1,62



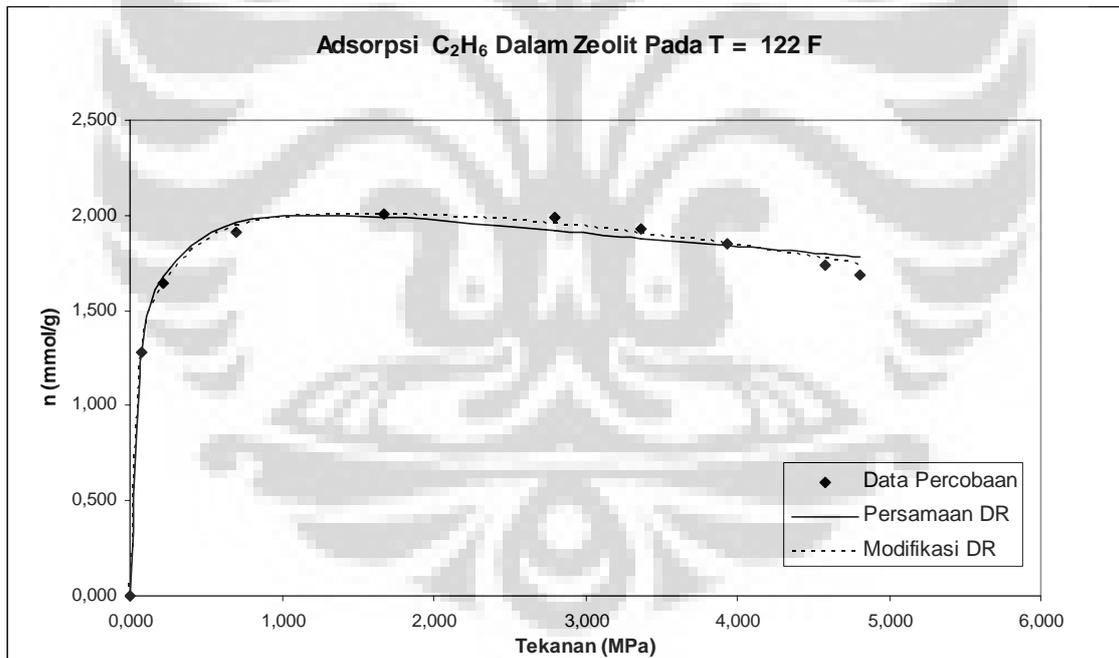
Lampiran B.2.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,000128583	2,103283
P _{Si}	1,200001644	2,4003005
D	0,058802735	0,0416442
r _{ads}	0	17,980158

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50	0,076	0,028	1,278	1,278	1,278	0,00	0,00
122	50	0,215	0,081	1,643	1,681	1,643	2,31	0,00
122	50	0,698	0,271	1,908	1,966	1,944	3,04	1,90
122	50	1,669	0,693	2,011	1,987	2,011	1,18	0,00
122	50	2,802	1,279	1,991	1,917	1,952	3,72	1,99
122	50	3,365	1,623	1,927	1,879	1,904	2,48	1,16
122	50	3,933	2,024	1,851	1,841	1,848	0,51	0,15
122	50	4,581	2,579	1,739	1,800	1,771	3,49	1,81
122	50	4,804	2,804	1,683	1,786	1,740	6,13	3,39

AAPD	2,54
AAPDm	1,16



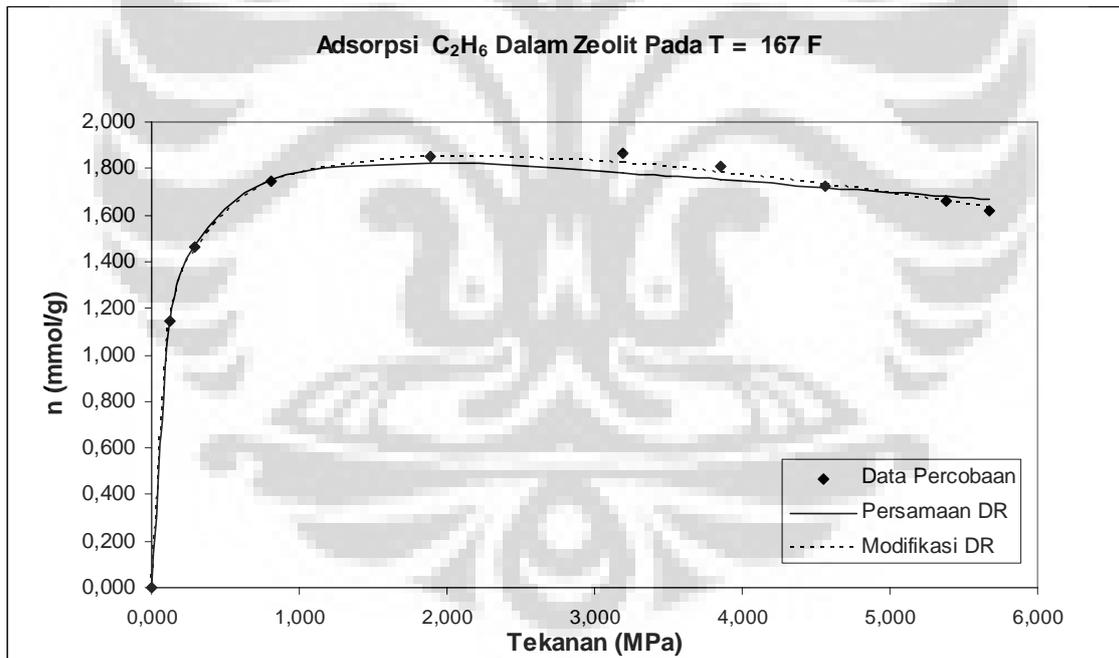
Lampiran B.2.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,825787292	1,9626801
P _{Si}	1,771253495	3,3233889
D	0,066991561	0,050235
r _{ads}	0	18,053603

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
167	75	0,126	0,044	1,142	1,142	1,142	0,00	0,00
167	75	0,291	0,102	1,462	1,467	1,449	0,34	0,93
167	75	0,811	0,291	1,747	1,753	1,747	0,30	0,00
167	75	1,887	0,717	1,849	1,825	1,855	1,30	0,29
167	75	3,190	1,311	1,868	1,784	1,820	4,51	2,58
167	75	3,853	1,656	1,810	1,753	1,781	3,15	1,64
167	75	4,561	2,065	1,722	1,720	1,729	0,11	0,46
167	75	5,382	2,608	1,662	1,681	1,660	1,15	0,12
167	75	5,676	2,824	1,617	1,667	1,632	3,10	0,93

AAPD	1,55
AAPDm	0,77



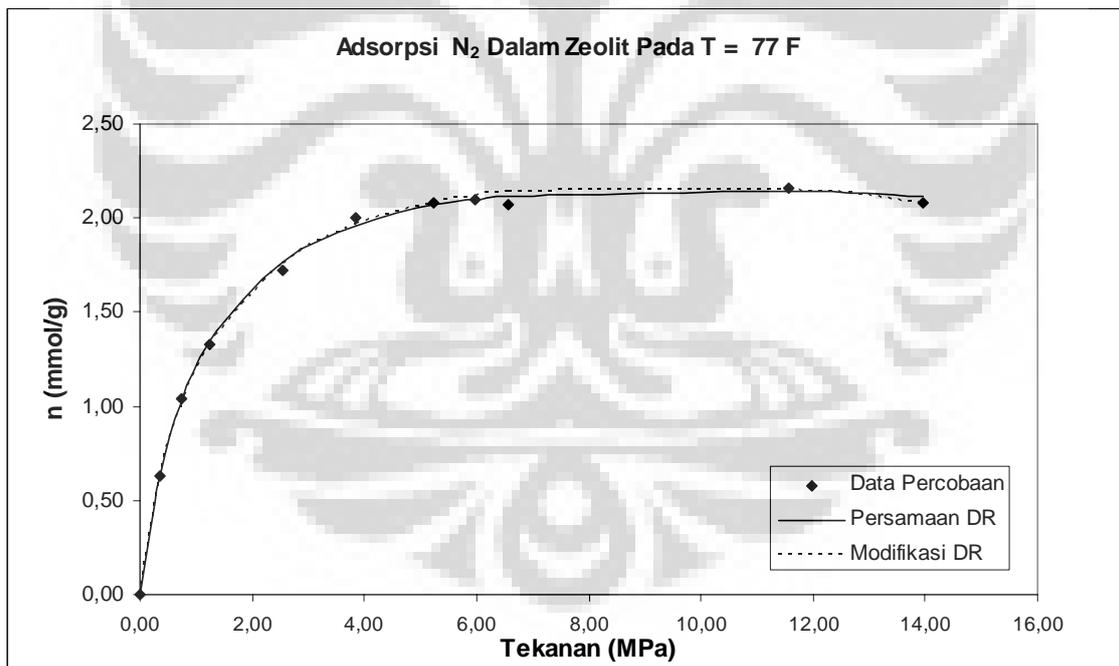
Lampiran B.3.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,152101992	2,5916151
P _{Si}	9,516300495	18,433697
D	0,113077012	0,0900253
r _{ads}	0	28,918117

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,349	0,141	0,625	0,625	0,625	0,00	0,00
77	25	0,734	0,297	1,040	1,024	1,006	1,51	3,22
77	25	1,248	0,505	1,331	1,349	1,326	1,40	0,39
77	25	2,537	1,028	1,724	1,766	1,754	2,45	1,75
77	25	3,843	1,558	2,000	1,961	1,965	1,97	1,76
77	25	5,244	2,125	2,083	2,067	2,083	0,74	0,00
77	25	5,962	2,415	2,099	2,100	2,118	0,02	0,89
77	25	6,578	2,663	2,072	2,119	2,138	2,29	3,22
77	25	11,554	4,429	2,159	2,143	2,152	0,76	0,34
77	25	13,946	5,524	2,082	2,117	2,082	1,68	0,00

AAPD	1,28
AAPDm	1,16



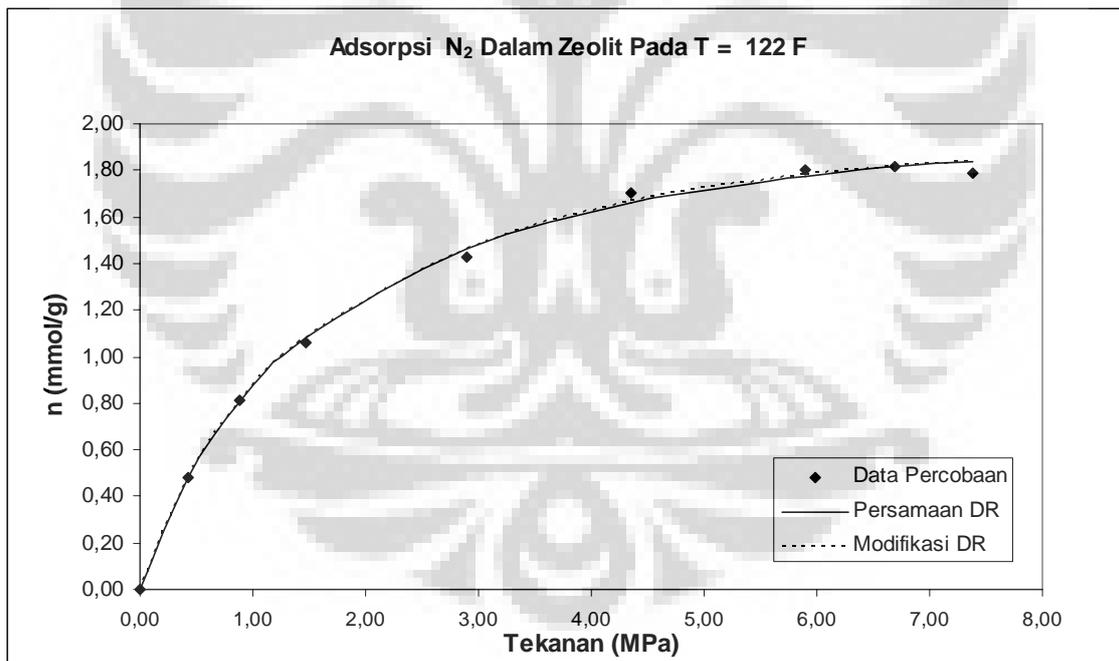
Lampiran B.3.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,909889592	2,2620651
P _{Si}	12,87101567	20,272516
D	0,120083119	0,1044249
r _{ads}	0	28,057525

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50	0,433	0,161	0,480	0,480	0,480	0,03	0,00
122	50	0,884	0,329	0,814	0,807	0,802	0,85	1,43
122	50	1,464	0,545	1,063	1,083	1,078	1,82	1,40
122	50	2,894	1,076	1,428	1,462	1,464	2,34	2,53
122	50	4,348	1,615	1,703	1,658	1,664	2,62	2,24
122	50	5,895	2,183	1,801	1,775	1,779	1,46	1,25
122	50	6,697	2,476	1,814	1,814	1,814	0,00	0,00
122	50	7,377	2,722	1,789	1,840	1,836	2,85	2,61

AAPD	1,50
AAPDm	1,43



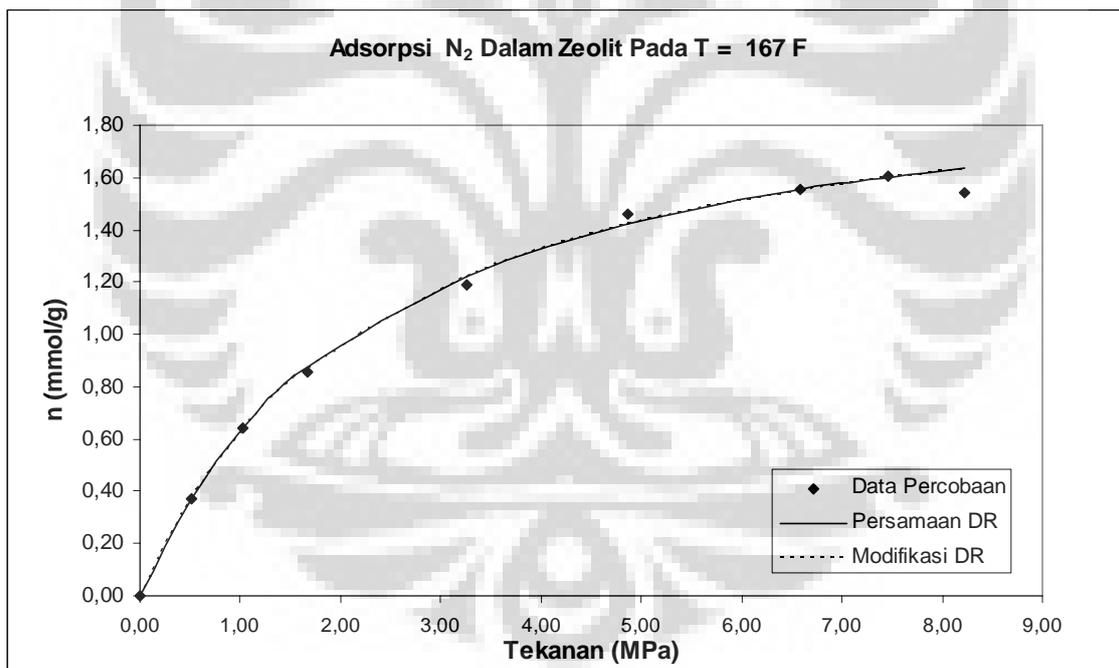
Lampiran B.3.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,779132155	2,2132498
P _{Si}	19,16493069	34,407342
D	0,119241414	0,1003787
r _{ads}	0	28,968895

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
167	75	0,512	0,177	0,372	0,372	0,372	0,02	0,00
167	75	1,030	0,355	0,643	0,642	0,635	0,10	1,16
167	75	1,676	0,578	0,858	0,877	0,867	2,16	1,09
167	75	3,258	1,120	1,192	1,223	1,218	2,61	2,16
167	75	4,856	1,663	1,458	1,421	1,420	2,52	2,61
167	75	6,578	2,242	1,552	1,552	1,551	0,00	0,07
167	75	7,454	2,534	1,602	1,600	1,597	0,14	0,31
167	75	8,230	2,790	1,545	1,634	1,629	5,75	5,42

AAPD	1,66
AAPDm	1,60



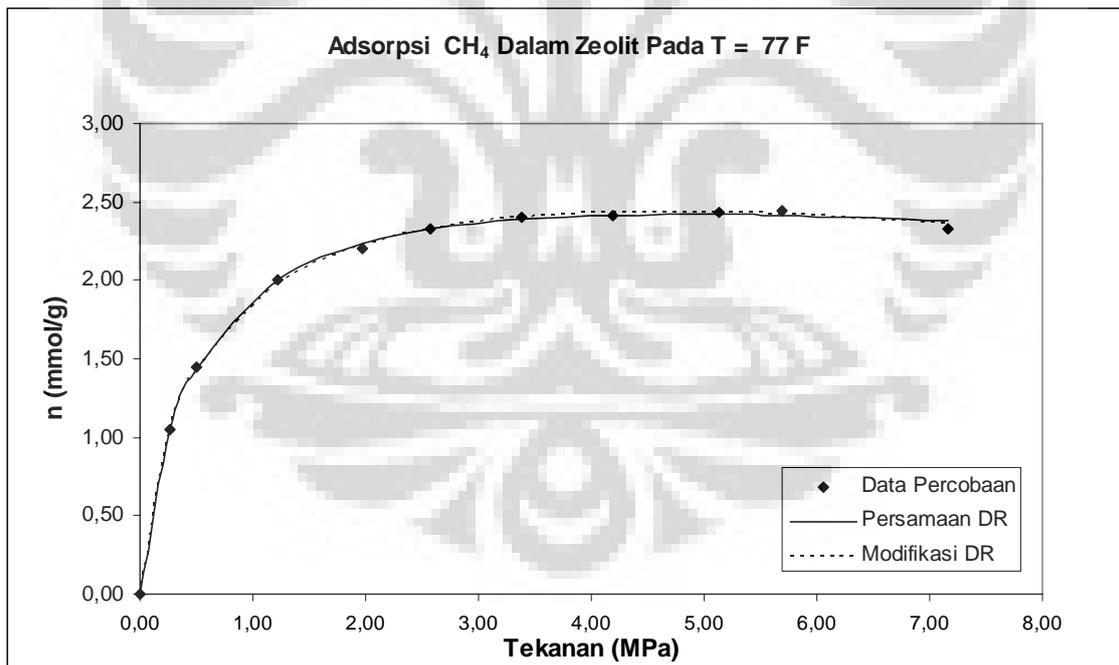
Lampiran B.4.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=77 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,419012016	2,74936
P _{Si}	4,784214456	8,7639691
D	0,100537796	0,0787966
r _{ads}	0	23,809829

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
77	25	0,270	0,110	1,053	1,053	1,053	0,00	0,00
77	25	0,495	0,202	1,452	1,441	1,422	0,76	2,13
77	25	1,222	0,505	2,003	2,006	1,982	0,14	1,06
77	25	1,966	0,823	2,200	2,234	2,226	1,56	1,18
77	25	2,574	1,089	2,331	2,327	2,331	0,15	0,00
77	25	3,375	1,448	2,404	2,390	2,403	0,61	0,04
77	25	4,186	1,821	2,414	2,415	2,432	0,02	0,75
77	25	5,128	2,267	2,437	2,418	2,432	0,79	0,21
77	25	5,686	2,536	2,439	2,412	2,421	1,12	0,76
77	25	7,156	3,267	2,328	2,380	2,364	2,23	1,56

AAPD	0,74
AAPDm	0,77



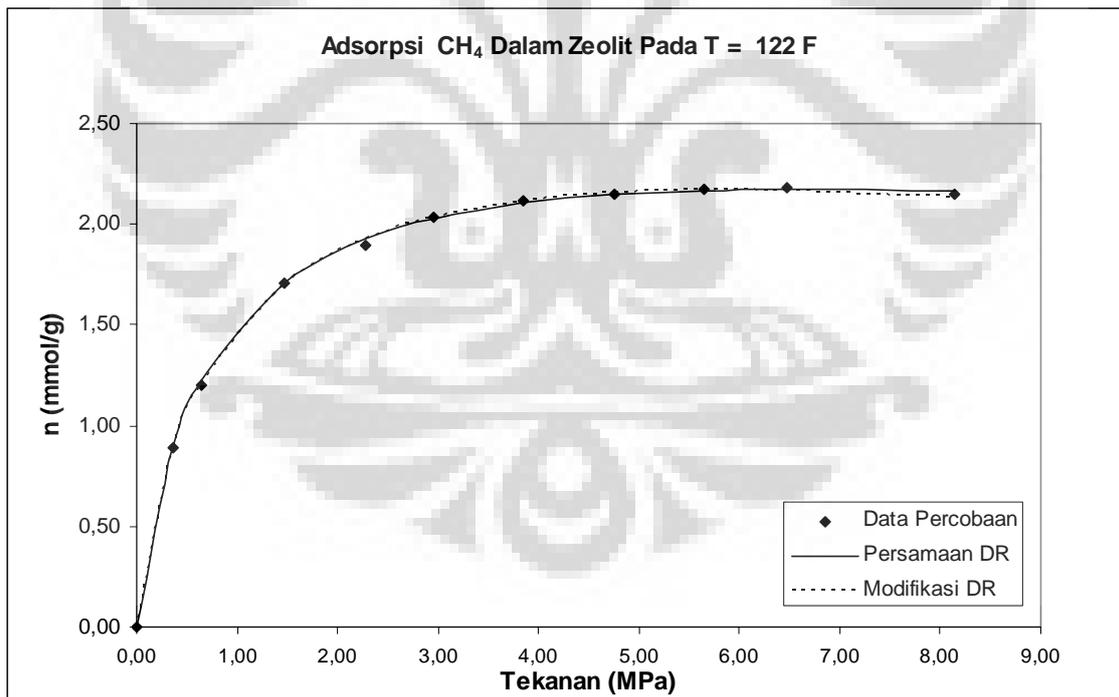
Lampiran B.4.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=122 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,174897612	2,5177528
P _{Si}	6,708134223	11,768222
D	0,104330089	0,0850388
r _{ads}	0	23,13126

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
122	50	0,363	0,136	0,894	0,895	0,894	0,11	0,00
122	50	0,641	0,241	1,203	1,223	1,212	1,64	0,73
122	50	1,468	0,558	1,709	1,709	1,700	0,00	0,56
122	50	2,280	0,876	1,897	1,926	1,927	1,55	1,57
122	50	2,960	1,146	2,035	2,028	2,035	0,33	0,01
122	50	3,851	1,508	2,118	2,106	2,117	0,58	0,08
122	50	4,764	1,885	2,148	2,148	2,157	0,01	0,41
122	50	5,656	2,260	2,170	2,168	2,170	0,06	0,03
122	50	6,466	2,607	2,181	2,175	2,167	0,30	0,65
122	50	8,139	3,335	2,150	2,166	2,130	0,79	0,91

AAPD	0,54
AAPDm	0,50



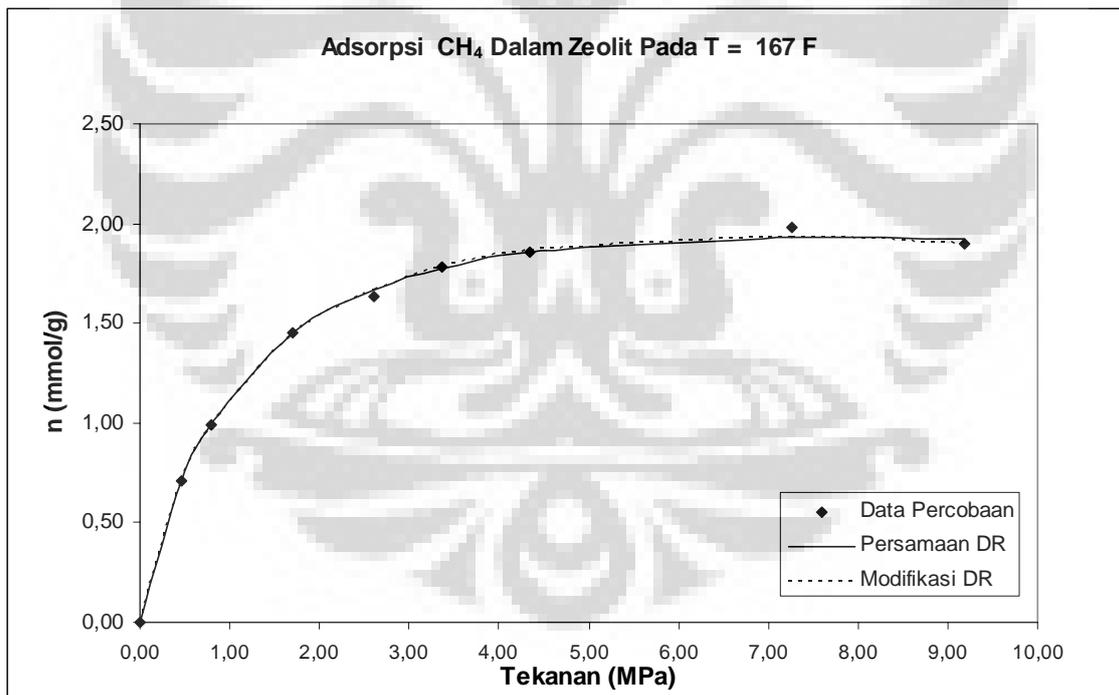
Lampiran B.4.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas N₂ (13X) dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=167 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,933695598	2,2468612
P _{Si}	7,58372903	12,231783
D	0,129210548	0,1075514
r _{ads}	0	23,068265

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
167	75	0,469	0,163	0,711	0,711	0,711	0,00	0,00
167	75	0,789	0,275	0,991	0,997	0,989	0,62	0,20
167	75	1,706	0,600	1,450	1,450	1,442	0,00	0,60
167	75	2,615	0,928	1,635	1,670	1,669	2,12	2,08
167	75	3,365	1,201	1,779	1,776	1,781	0,21	0,07
167	75	4,348	1,565	1,858	1,858	1,867	0,00	0,48
167	75	7,257	2,667	1,977	1,933	1,930	2,20	2,38
167	75	9,183	3,413	1,898	1,925	1,898	1,42	0,00

AAPD	0,82
AAPDm	0,73



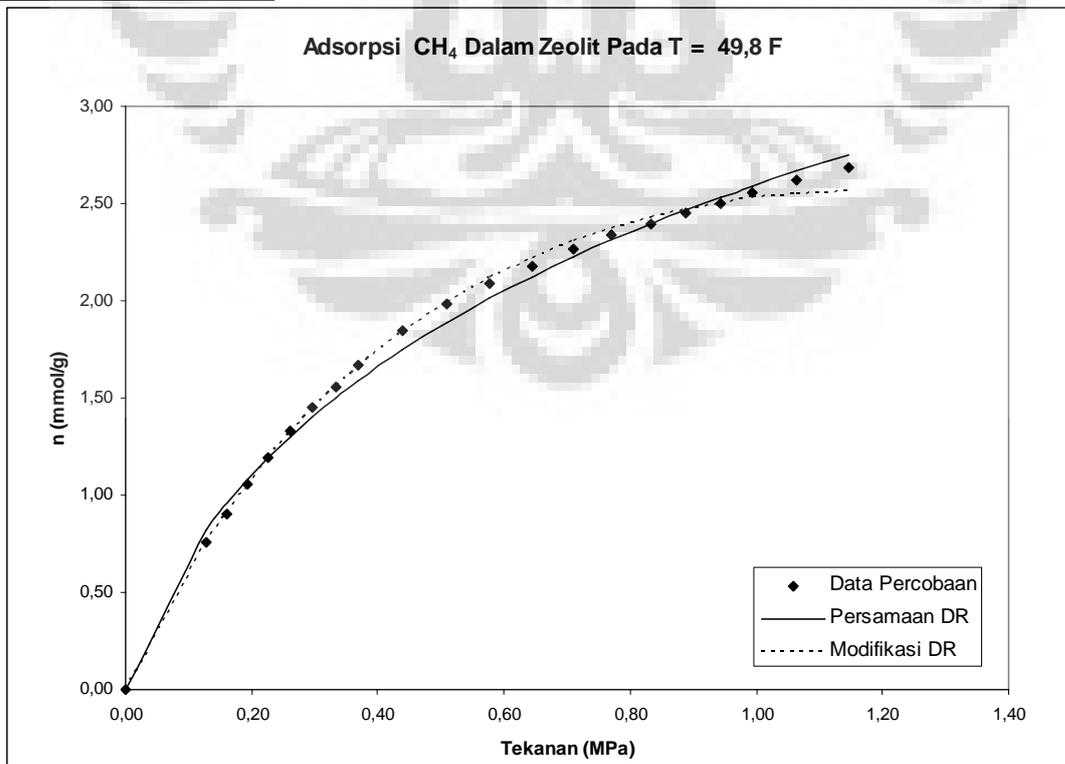
Lampiran B.5.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,422701107	9,1898741
P _{si}	30,74157364	29,863454
D	0,062748359	0,0829335
r _{ads}	0	24,601837

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
49,8	9,89	0,128	0,877	0,755	0,824	0,754	9,17	0,09
49,8	9,89	0,160	1,093	0,902	0,956	0,908	6,00	0,71
49,8	9,89	0,192	1,314	1,056	1,077	1,052	1,95	0,38
49,8	9,89	0,227	1,554	1,195	1,195	1,195	0,00	0,06
49,8	9,89	0,261	1,789	1,330	1,302	1,322	2,12	0,56
49,8	9,89	0,297	2,037	1,448	1,405	1,446	2,96	0,13
49,8	9,89	0,333	2,286	1,555	1,500	1,559	3,51	0,26
49,8	9,89	0,369	2,532	1,671	1,588	1,662	4,97	0,58
49,8	9,89	0,439	3,019	1,846	1,746	1,840	5,42	0,32
49,8	9,89	0,509	3,507	1,986	1,887	1,992	4,98	0,28
49,8	9,89	0,578	3,991	2,085	2,014	2,119	3,44	1,60
49,8	9,89	0,645	4,454	2,178	2,124	2,221	2,47	1,99
49,8	9,89	0,709	4,907	2,269	2,223	2,306	2,01	1,61
49,8	9,89	0,771	5,364	2,342	2,313	2,371	1,24	1,27
49,8	9,89	0,832	5,771	2,394	2,394	2,429	0,00	1,45
49,8	9,89	0,888	6,168	2,455	2,465	2,471	0,41	0,64
49,8	9,89	0,943	6,557	2,504	2,531	2,504	1,09	0,00
49,8	9,89	0,994	6,921	2,553	2,590	2,529	1,45	0,96
49,8	9,89	1,064	7,418	2,624	2,666	2,552	1,62	2,72
49,8	9,89	1,147	8,011	2,686	2,751	2,568	2,44	4,39

AAPD	2,86
AAPDm	1,00



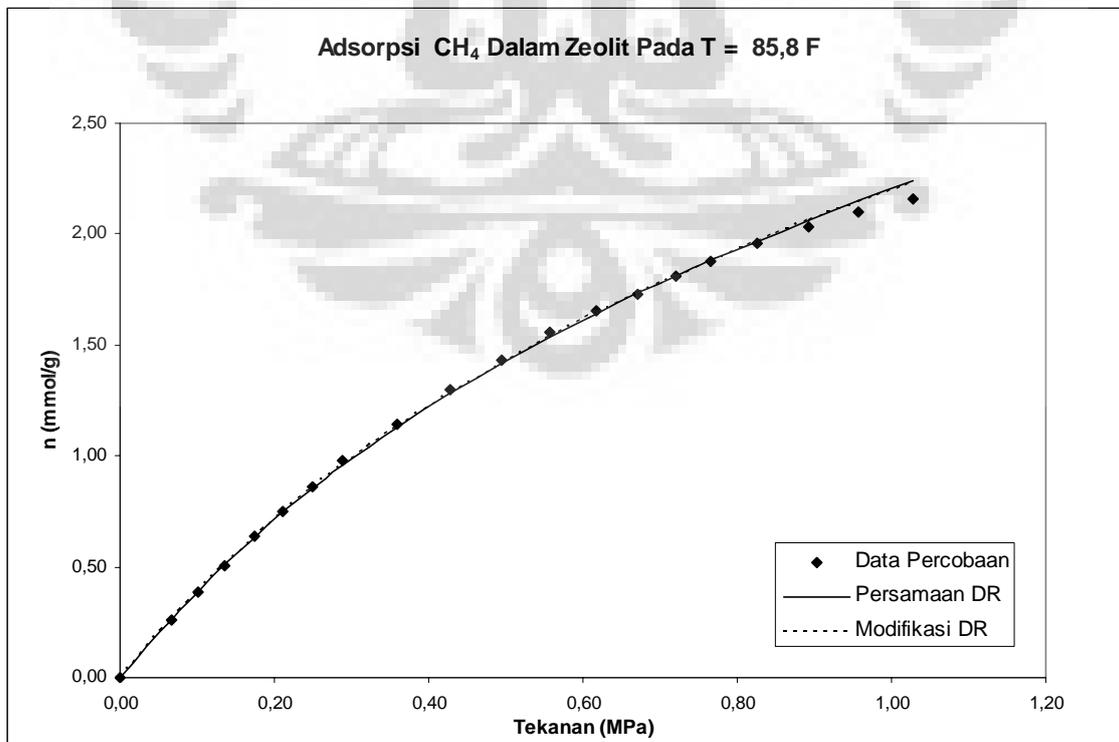
Lampiran B.5.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=85,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	5,988888471	6,253501
P _{si}	33,73249719	35,882035
D	0,080783208	0,0803724
r _{ads}	0	23,993842

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,8	29,89	0,067	0,024	0,260	0,263	0,262	1,01	0,62
85,8	29,89	0,100	0,036	0,384	0,389	0,388	1,36	1,12
85,8	29,89	0,136	0,048	0,503	0,515	0,514	2,43	2,29
85,8	29,89	0,173	0,061	0,636	0,634	0,634	0,30	0,35
85,8	29,89	0,212	0,075	0,750	0,750	0,750	0,00	0,00
85,8	29,89	0,250	0,089	0,864	0,857	0,857	0,85	0,81
85,8	29,89	0,287	0,102	0,976	0,956	0,956	2,06	1,99
85,8	29,89	0,359	0,128	1,146	1,131	1,132	1,29	1,19
85,8	29,89	0,428	0,153	1,300	1,283	1,285	1,26	1,16
85,8	29,89	0,495	0,176	1,435	1,418	1,420	1,15	1,06
85,8	29,89	0,558	0,199	1,557	1,537	1,539	1,23	1,15
85,8	29,89	0,617	0,220	1,651	1,643	1,643	0,49	0,43
85,8	29,89	0,671	0,240	1,732	1,733	1,734	0,07	0,10
85,8	29,89	0,720	0,258	1,811	1,812	1,812	0,10	0,10
85,8	29,89	0,765	0,274	1,880	1,881	1,880	0,02	0,01
85,8	29,89	0,825	0,296	1,955	1,969	1,968	0,74	0,67
85,8	29,89	0,892	0,320	2,031	2,062	2,059	1,54	1,42
85,8	29,89	0,957	0,344	2,098	2,148	2,144	2,37	2,20
85,8	29,89	1,029	0,370	2,159	2,238	2,233	3,69	3,46

AAPD	1,16
AAPDm	1,06



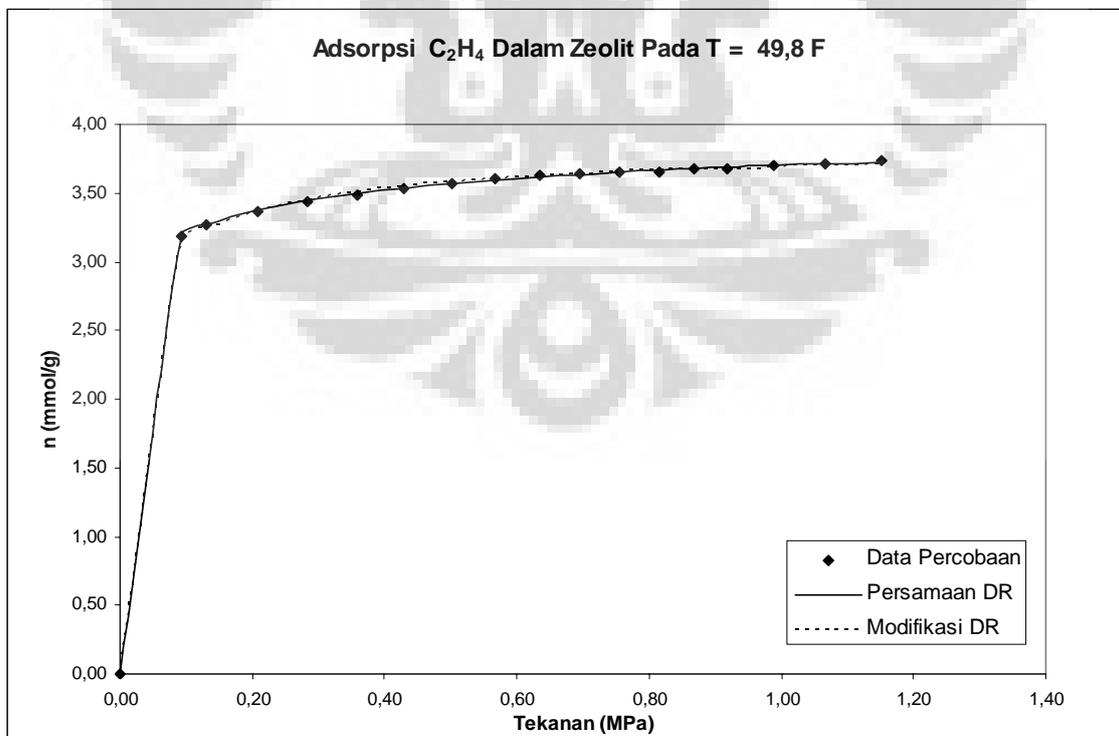
Lampiran B.6.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	4,025971584	4,1760376
P _{Si}	33,99852335	32,950732
D	0,006755326	0,0081982
r _{ads}	0	20,017585

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
49,8	9,89	0,092	0,040	3,180	3,180	3,140	0,00	1,27
49,8	9,89	0,132	0,057	3,269	3,269	3,243	0,02	0,81
49,8	9,89	0,207	0,090	3,368	3,377	3,368	0,29	0,01
49,8	9,89	0,284	0,123	3,440	3,449	3,448	0,26	0,24
49,8	9,89	0,358	0,156	3,488	3,500	3,504	0,35	0,47
49,8	9,89	0,430	0,188	3,531	3,539	3,545	0,22	0,40
49,8	9,89	0,501	0,220	3,574	3,570	3,577	0,10	0,10
49,8	9,89	0,568	0,251	3,600	3,595	3,602	0,12	0,07
49,8	9,89	0,634	0,282	3,632	3,617	3,623	0,42	0,26
49,8	9,89	0,695	0,310	3,642	3,635	3,639	0,19	0,08
49,8	9,89	0,756	0,339	3,653	3,651	3,653	0,06	0,01
49,8	9,89	0,815	0,367	3,654	3,665	3,664	0,30	0,29
49,8	9,89	0,868	0,393	3,673	3,676	3,673	0,10	0,03
49,8	9,89	0,920	0,418	3,681	3,687	3,681	0,15	0,00
49,8	9,89	0,989	0,452	3,699	3,700	3,690	0,02	0,22
49,8	9,89	1,066	0,490	3,714	3,713	3,699	0,02	0,39
49,8	9,89	1,151	0,532	3,736	3,726	3,707	0,27	0,78

AAPD	0,17
AAPDm	0,32



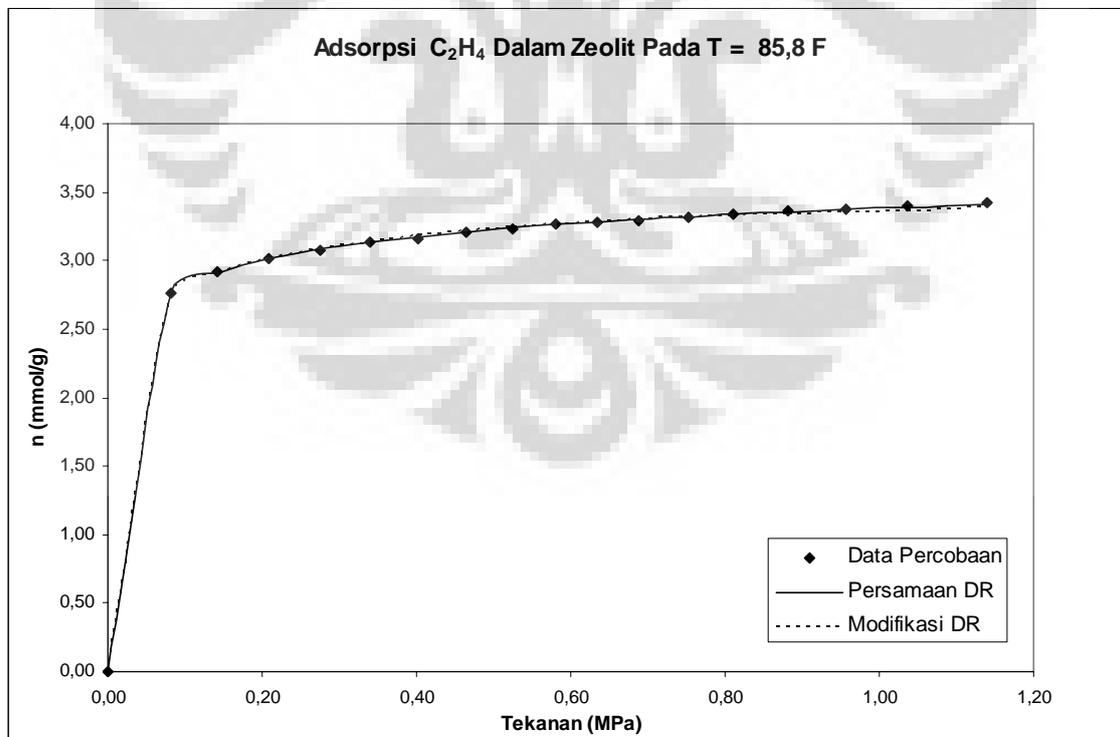
Lampiran B.6.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₄ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=85,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,771500926	3,8770902
P _{Si}	38,00856117	38,95486
D	0,008300187	0,0090937
r _{ads}	0	21,006373

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,8	29,89	0,082	0,033	2,757	2,757	2,739	0,00	0,66
85,8	29,89	0,143	0,057	2,917	2,911	2,904	0,18	0,41
85,8	29,89	0,208	0,084	3,012	3,012	3,011	0,01	0,03
85,8	29,89	0,275	0,111	3,080	3,083	3,086	0,11	0,19
85,8	29,89	0,339	0,137	3,131	3,135	3,139	0,14	0,27
85,8	29,89	0,403	0,164	3,165	3,177	3,181	0,37	0,51
85,8	29,89	0,464	0,189	3,208	3,210	3,214	0,06	0,18
85,8	29,89	0,524	0,214	3,236	3,238	3,241	0,06	0,15
85,8	29,89	0,580	0,238	3,263	3,262	3,263	0,05	0,00
85,8	29,89	0,635	0,261	3,280	3,282	3,282	0,07	0,06
85,8	29,89	0,687	0,284	3,289	3,300	3,298	0,32	0,26
85,8	29,89	0,752	0,312	3,313	3,319	3,315	0,18	0,05
85,8	29,89	0,812	0,338	3,336	3,336	3,329	0,00	0,21
85,8	29,89	0,882	0,368	3,358	3,353	3,343	0,15	0,45
85,8	29,89	0,957	0,401	3,380	3,370	3,356	0,30	0,71
85,8	29,89	1,036	0,437	3,398	3,386	3,368	0,33	0,86
85,8	29,89	1,140	0,484	3,425	3,406	3,382	0,58	1,27

AAPD	0,17
AAPDm	0,37



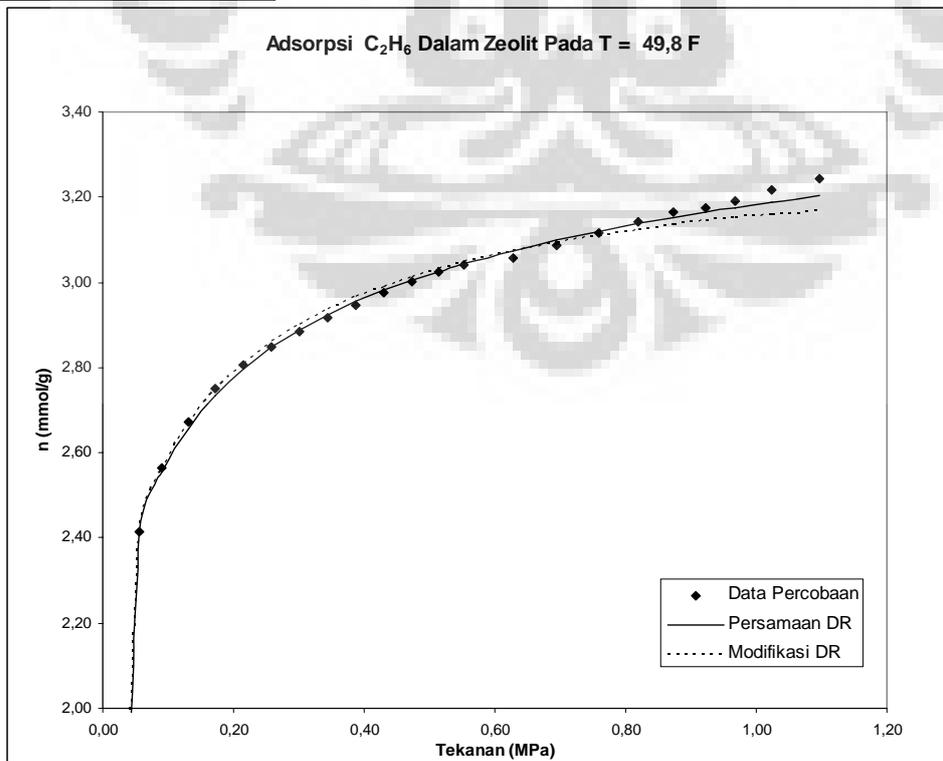
Lampiran B.7.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,650175105	3,7485436
P _{Si}	48,99494983	49,98439
D	0,009028972	0,0095243
r _{ads}	0	18,020028

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
49,8	9,89	0,057	0,024	2,415	2,415	2,415	0,00	0,00
49,8	9,89	0,091	0,039	2,564	2,554	2,560	0,38	0,14
49,8	9,89	0,130	0,056	2,672	2,657	2,668	0,56	0,18
49,8	9,89	0,172	0,074	2,750	2,735	2,747	0,54	0,10
49,8	9,89	0,215	0,093	2,807	2,797	2,810	0,35	0,12
49,8	9,89	0,258	0,113	2,848	2,847	2,861	0,02	0,45
49,8	9,89	0,302	0,132	2,886	2,889	2,902	0,10	0,55
49,8	9,89	0,345	0,152	2,917	2,924	2,936	0,23	0,64
49,8	9,89	0,388	0,171	2,946	2,955	2,965	0,31	0,67
49,8	9,89	0,430	0,191	2,977	2,981	2,990	0,14	0,44
49,8	9,89	0,472	0,210	3,003	3,005	3,012	0,06	0,30
49,8	9,89	0,514	0,230	3,023	3,026	3,031	0,08	0,26
49,8	9,89	0,554	0,248	3,041	3,045	3,048	0,12	0,22
49,8	9,89	0,627	0,284	3,058	3,075	3,074	0,55	0,52
49,8	9,89	0,696	0,317	3,086	3,100	3,094	0,44	0,27
49,8	9,89	0,759	0,348	3,115	3,120	3,111	0,18	0,13
49,8	9,89	0,819	0,378	3,142	3,138	3,124	0,14	0,58
49,8	9,89	0,873	0,406	3,165	3,153	3,135	0,37	0,95
49,8	9,89	0,924	0,431	3,176	3,166	3,144	0,34	1,03
49,8	9,89	0,968	0,454	3,192	3,176	3,151	0,50	1,30
49,8	9,89	1,024	0,483	3,218	3,189	3,159	0,91	1,85
49,8	9,89	1,097	0,522	3,244	3,204	3,168	1,24	2,36

AAPD	0,34
AAPDm	0,59



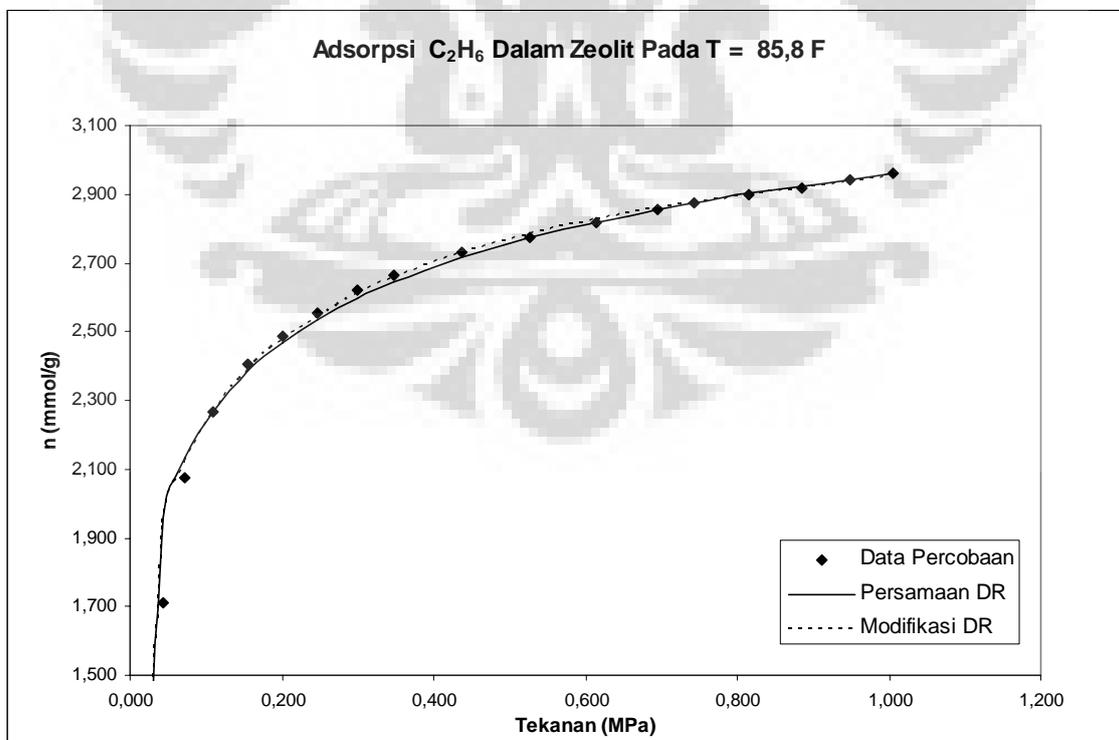
Lampiran B.7.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₂H₆ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=85,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	3,554002539	3,6771178
P _{Si}	50,00044231	50,957504
D	0,011972801	0,0127366
r _{ads}	0	17,967751

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
85,8	29,89	0,044	0,017	1,713	1,961	1,945	14,48	13,53
85,8	29,89	0,072	0,029	2,073	2,130	2,123	2,75	2,40
85,8	29,89	0,110	0,044	2,268	2,268	2,268	0,00	0,00
85,8	29,89	0,156	0,063	2,404	2,386	2,391	0,78	0,55
85,8	29,89	0,201	0,081	2,488	2,469	2,478	0,78	0,42
85,8	29,89	0,247	0,100	2,556	2,535	2,546	0,81	0,38
85,8	29,89	0,300	0,122	2,620	2,598	2,610	0,84	0,37
85,8	29,89	0,347	0,142	2,665	2,644	2,657	0,79	0,31
85,8	29,89	0,438	0,180	2,729	2,717	2,729	0,45	0,00
85,8	29,89	0,528	0,218	2,776	2,773	2,784	0,08	0,30
85,8	29,89	0,613	0,255	2,818	2,818	2,826	0,01	0,29
85,8	29,89	0,695	0,291	2,853	2,855	2,860	0,07	0,23
85,8	29,89	0,743	0,313	2,874	2,875	2,877	0,03	0,13
85,8	29,89	0,816	0,346	2,898	2,902	2,901	0,12	0,09
85,8	29,89	0,885	0,377	2,917	2,925	2,920	0,26	0,10
85,8	29,89	0,948	0,406	2,944	2,944	2,936	0,00	0,27
85,8	29,89	1,007	0,433	2,961	2,961	2,949	0,00	0,39
85,8	29,89	1,089	0,472	2,987	2,983	2,966	0,14	0,70

AAPD	1,31
AAPDm	1,16



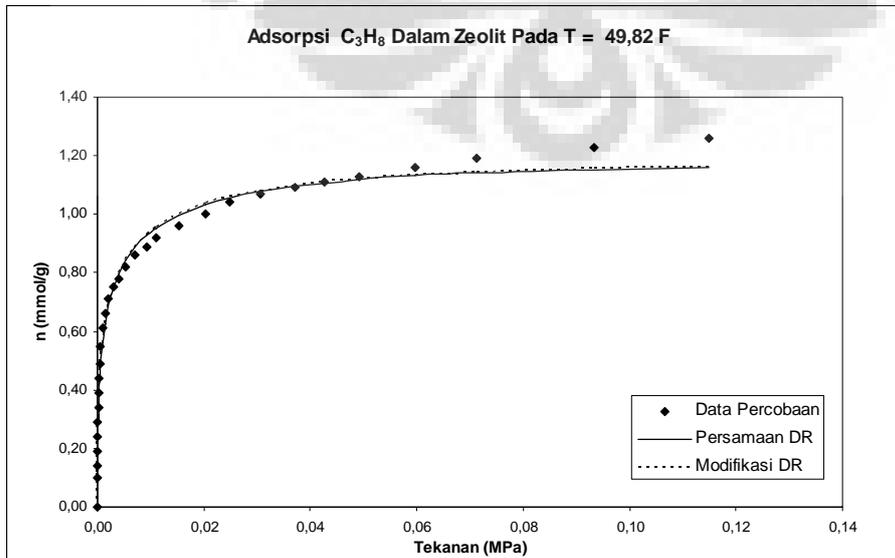
Lampiran B.8.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₃H₈ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=49,8 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,161590389	1,16672
P _{Si}	0,158929429	0,1591928
D	0,02784081	0,0278971
r _{ads}	0	13,328522

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
49,82	9,9	0,000	0,000	0,100	0,123	0,123	23,00	22,88
49,82	9,9	0,000	0,000	0,140	0,172	0,172	22,61	22,58
49,82	9,9	0,000	0,000	0,190	0,190	0,190	0,00	0,00
49,82	9,9	0,000	0,000	0,240	0,245	0,245	2,09	2,15
49,82	9,9	0,000	0,000	0,290	0,276	0,276	4,98	4,90
49,82	9,9	0,000	0,000	0,340	0,308	0,309	9,27	9,17
49,82	9,9	0,000	0,000	0,390	0,348	0,348	10,86	10,74
49,82	9,9	0,000	0,000	0,440	0,388	0,389	11,71	11,57
49,82	9,9	0,000	0,000	0,490	0,439	0,440	10,42	10,26
49,82	9,9	0,001	0,000	0,550	0,493	0,494	10,31	10,12
49,82	9,9	0,001	0,000	0,610	0,560	0,561	8,21	7,99
49,82	9,9	0,001	0,001	0,660	0,627	0,629	4,94	4,69
49,82	9,9	0,002	0,001	0,710	0,691	0,693	2,73	2,45
49,82	9,9	0,003	0,001	0,750	0,747	0,750	0,35	0,05
49,82	9,9	0,004	0,002	0,780	0,798	0,801	2,31	2,63
49,82	9,9	0,005	0,002	0,820	0,843	0,846	2,84	3,18
49,82	9,9	0,007	0,003	0,860	0,886	0,889	3,04	3,38
49,82	9,9	0,009	0,004	0,890	0,928	0,931	4,22	4,57
49,82	9,9	0,011	0,005	0,920	0,952	0,956	3,52	3,88
49,82	9,9	0,015	0,007	0,960	0,997	1,001	3,90	4,25
49,82	9,9	0,020	0,009	1,000	1,032	1,035	3,20	3,54
49,82	9,9	0,025	0,011	1,040	1,056	1,059	1,51	1,84
49,82	9,9	0,030	0,013	1,070	1,077	1,080	0,63	0,94
49,82	9,9	0,037	0,016	1,090	1,095	1,098	0,46	0,76
49,82	9,9	0,043	0,018	1,110	1,107	1,110	0,28	0,00
49,82	9,9	0,049	0,021	1,130	1,118	1,121	1,07	0,81
49,82	9,9	0,060	0,026	1,160	1,131	1,134	2,50	2,28
49,82	9,9	0,071	0,031	1,190	1,141	1,143	4,12	3,93
49,82	9,9	0,093	0,040	1,230	1,152	1,154	6,31	6,19
49,82	9,9	0,115	0,050	1,260	1,158	1,159	8,08	8,02

AAPD	5,65
AAPDm	5,66



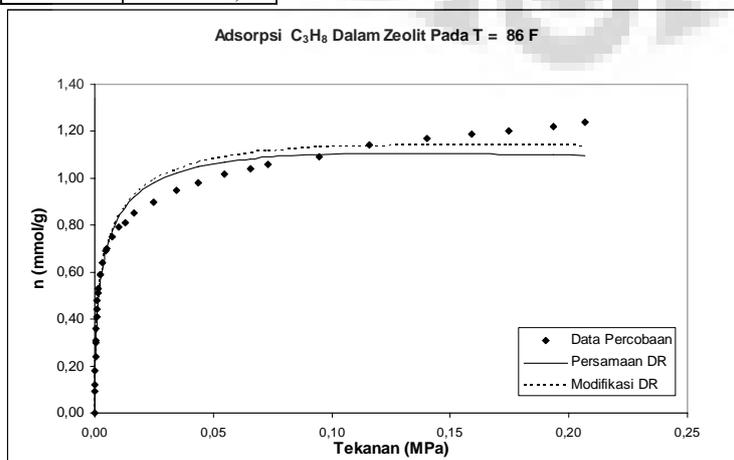
Lampiran B.8.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₃H₈ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=86 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,105923706	1,1494419
P _{Si}	0,133326765	0,1656446
D	0,042418076	0,0405066
r _{ads}	0	13,22588

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
86	30	0,000	0,000	0,090	0,123	0,124	36,68	37,94
86	30	0,000	0,000	0,120	0,150	0,151	25,28	26,04
86	30	0,000	0,000	0,180	0,194	0,194	7,71	7,98
86	30	0,000	0,000	0,240	0,240	0,240	0,00	0,00
86	30	0,000	0,000	0,300	0,268	0,267	10,83	10,93
86	30	0,000	0,000	0,310	0,292	0,291	5,95	6,12
86	30	0,001	0,000	0,360	0,313	0,312	13,05	13,26
86	30	0,001	0,000	0,410	0,358	0,357	12,59	12,87
86	30	0,001	0,000	0,440	0,399	0,397	9,33	9,66
86	30	0,001	0,000	0,480	0,414	0,412	13,85	14,17
86	30	0,001	0,001	0,510	0,467	0,465	8,41	8,75
86	30	0,002	0,001	0,530	0,472	0,470	10,96	11,29
86	30	0,002	0,001	0,590	0,547	0,545	7,26	7,57
86	30	0,002	0,001	0,590	0,558	0,556	5,47	5,77
86	30	0,003	0,001	0,640	0,614	0,613	4,03	4,26
86	30	0,005	0,002	0,690	0,689	0,688	0,17	0,26
86	30	0,005	0,002	0,700	0,702	0,702	0,34	0,29
86	30	0,007	0,003	0,750	0,775	0,777	3,40	3,56
86	30	0,010	0,004	0,790	0,837	0,840	5,91	6,32
86	30	0,013	0,005	0,810	0,874	0,879	7,94	8,54
86	30	0,017	0,007	0,850	0,921	0,928	8,34	9,20
86	30	0,025	0,010	0,900	0,981	0,993	8,99	10,28
86	30	0,034	0,014	0,950	1,023	1,038	7,65	9,31
86	30	0,044	0,018	0,980	1,049	1,069	7,08	9,05
86	30	0,055	0,022	1,020	1,069	1,092	4,82	7,03
86	30	0,066	0,026	1,040	1,083	1,108	4,11	6,56
86	30	0,073	0,029	1,060	1,089	1,116	2,75	5,31
86	30	0,095	0,038	1,090	1,100	1,132	0,96	3,82
86	30	0,116	0,047	1,140	1,105	1,139	3,07	0,05
86	30	0,140	0,057	1,170	1,106	1,143	5,49	2,29
86	30	0,159	0,065	1,190	1,104	1,144	7,19	3,89
86	30	0,175	0,071	1,200	1,102	1,143	8,13	4,74
86	30	0,193	0,079	1,220	1,099	1,141	9,88	6,44
86	30	0,207	0,085	1,240	1,097	1,140	11,54	8,08

AAPD	8,21
AAPDm	8,28



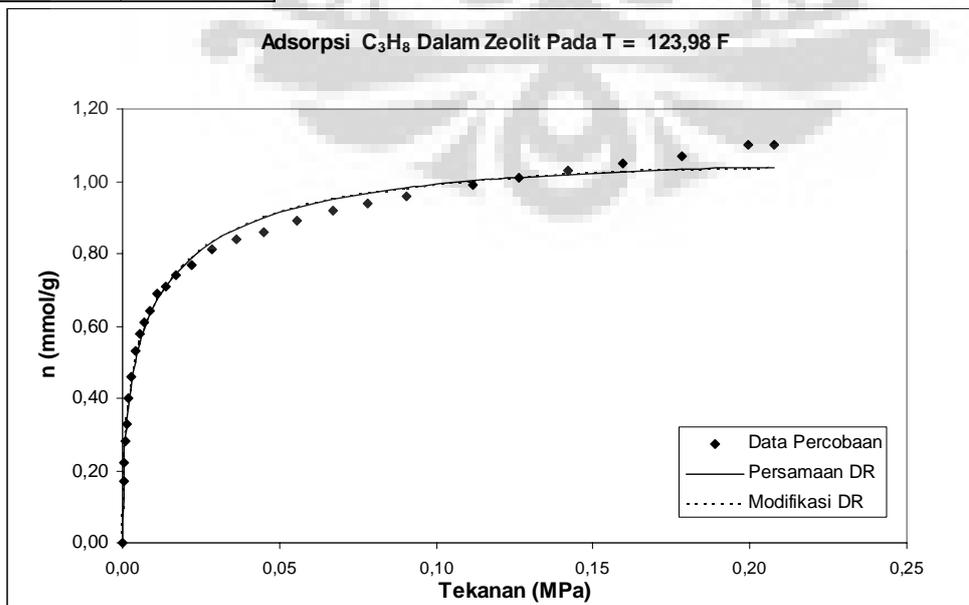
Lampiran B.8.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas C₃H₈ dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=123,98 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,04883613	1,0533738
P _{Si}	0,345432887	0,3539594
D	0,037440717	0,0372558
r _{ads}	0	13,213318

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
123,98	51,1	0,001	0,000	0,170	0,214	0,214	25,72	25,76
123,98	51,1	0,001	0,000	0,220	0,244	0,244	10,68	10,70
123,98	51,1	0,001	0,000	0,280	0,280	0,280	0,00	0,00
123,98	51,1	0,001	0,000	0,330	0,317	0,317	3,98	3,99
123,98	51,1	0,002	0,001	0,400	0,373	0,373	6,83	6,85
123,98	51,1	0,003	0,001	0,460	0,430	0,430	6,44	6,47
123,98	51,1	0,004	0,001	0,530	0,499	0,499	5,83	5,85
123,98	51,1	0,005	0,002	0,580	0,550	0,550	5,19	5,21
123,98	51,1	0,007	0,003	0,610	0,592	0,592	3,01	3,02
123,98	51,1	0,009	0,003	0,640	0,634	0,634	1,00	1,01
123,98	51,1	0,011	0,004	0,690	0,674	0,674	2,30	2,31
123,98	51,1	0,014	0,005	0,710	0,710	0,710	0,00	0,00
123,98	51,1	0,017	0,006	0,740	0,746	0,746	0,76	0,77
123,98	51,1	0,022	0,008	0,770	0,790	0,790	2,55	2,56
123,98	51,1	0,029	0,011	0,810	0,831	0,831	2,59	2,60
123,98	51,1	0,036	0,014	0,840	0,867	0,867	3,21	3,22
123,98	51,1	0,045	0,017	0,860	0,898	0,898	4,45	4,46
123,98	51,1	0,056	0,021	0,890	0,926	0,926	4,05	4,05
123,98	51,1	0,067	0,025	0,920	0,949	0,949	3,12	3,11
123,98	51,1	0,078	0,029	0,940	0,966	0,966	2,74	2,72
123,98	51,1	0,090	0,034	0,960	0,981	0,980	2,14	2,10
123,98	51,1	0,112	0,042	0,990	1,000	0,999	1,02	0,94
123,98	51,1	0,127	0,048	1,010	1,010	1,009	0,00	0,10
123,98	51,1	0,142	0,054	1,030	1,018	1,017	1,15	1,27
123,98	51,1	0,160	0,061	1,050	1,026	1,024	2,32	2,47
123,98	51,1	0,178	0,068	1,070	1,032	1,030	3,57	3,76
123,98	51,1	0,199	0,076	1,100	1,037	1,035	5,72	5,95
123,98	51,1	0,208	0,079	1,100	1,039	1,036	5,57	5,82

AAPD	4,14
AAPDm	4,18



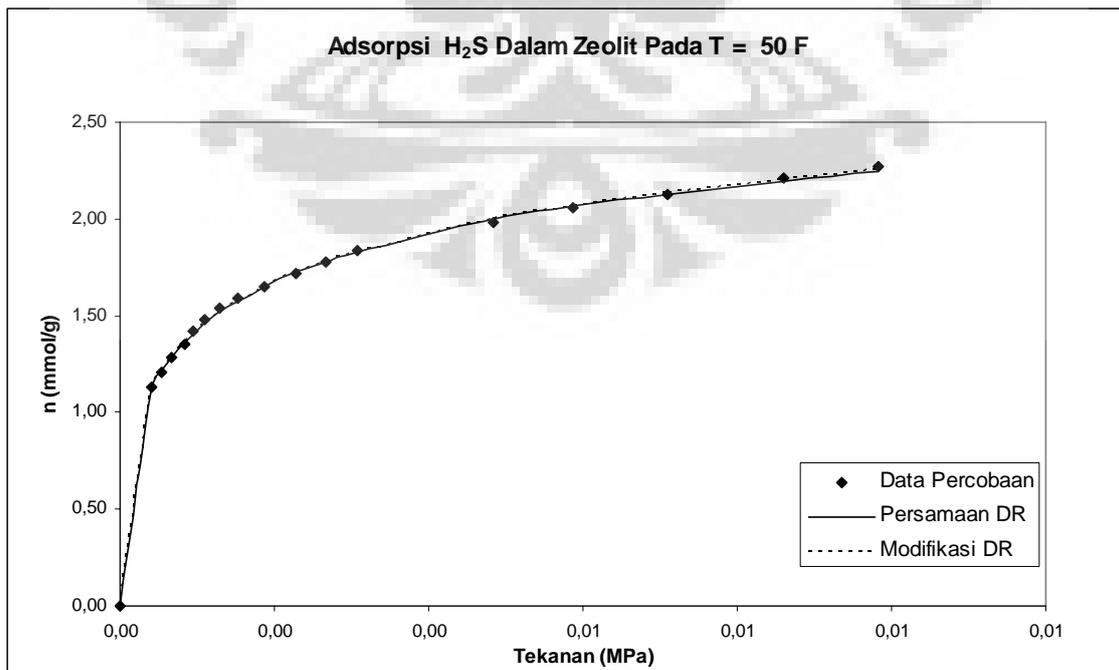
Lampiran B.9.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=50 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,876731378	2,981556
P _{Si}	0,288284667	0,389055
D	0,021890399	0,020765
r _{ads}	0	27,000000

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
50	10	0,000	0,000	1,130	1,123	1,124	0,63	0,56
50	10	0,001	0,000	1,210	1,213	1,213	0,27	0,28
50	10	0,001	0,000	1,280	1,281	1,281	0,07	0,05
50	10	0,001	0,000	1,350	1,364	1,364	1,05	1,00
50	10	0,001	0,000	1,420	1,404	1,403	1,16	1,21
50	10	0,001	0,000	1,480	1,459	1,458	1,41	1,46
50	10	0,001	0,001	1,540	1,519	1,518	1,37	1,42
50	10	0,002	0,001	1,590	1,575	1,575	0,93	0,97
50	10	0,002	0,001	1,650	1,650	1,650	0,03	0,00
50	10	0,002	0,001	1,720	1,723	1,723	0,16	0,16
50	10	0,003	0,001	1,780	1,780	1,781	0,02	0,05
50	10	0,003	0,001	1,840	1,831	1,832	0,47	0,42
50	10	0,005	0,002	1,980	1,995	1,998	0,76	0,93
50	10	0,006	0,003	2,060	2,064	2,069	0,20	0,44
50	10	0,007	0,003	2,130	2,130	2,137	0,00	0,31
50	10	0,009	0,004	2,210	2,196	2,205	0,62	0,22
50	10	0,010	0,004	2,270	2,241	2,251	1,29	0,84

AAPD	0,61
AAPDm	0,61



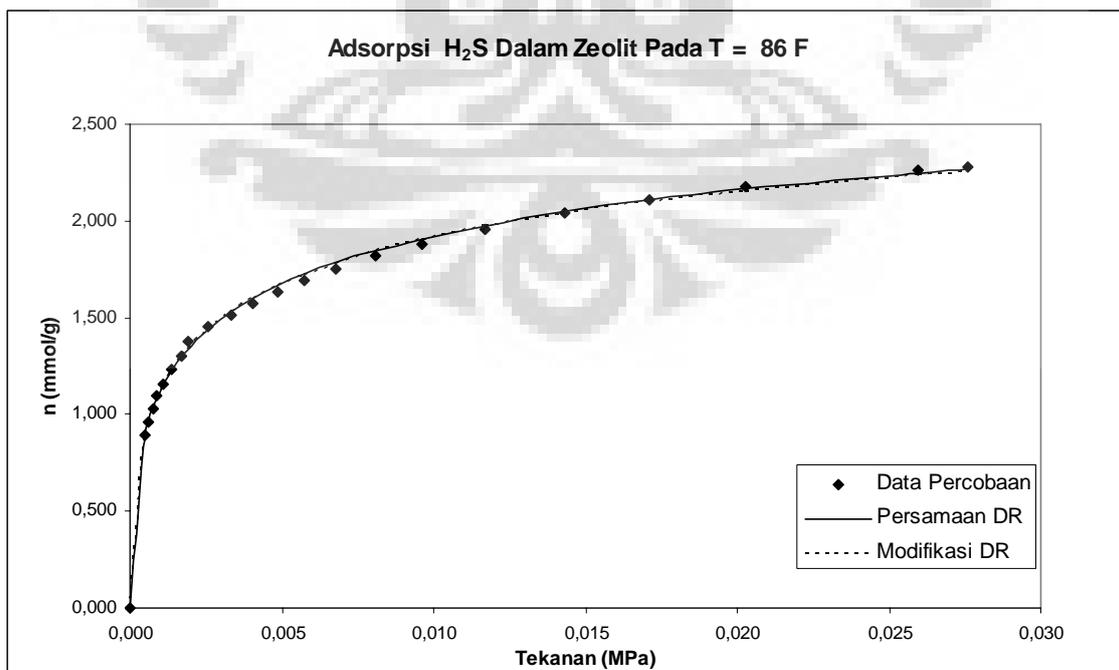
Lampiran B.9.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=86 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,887940939	2,7946536
P _{Si}	0,83436125	0,6421137
D	0,020830335	0,0217475
r _{ads}	0	27,017806

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
86	30	0,000	0,000	0,890	0,912	0,911	2,43	2,40
86	30	0,001	0,000	0,960	0,960	0,960	0,00	0,00
86	30	0,001	0,000	1,030	1,040	1,041	1,00	1,05
86	30	0,001	0,000	1,100	1,078	1,079	1,98	1,92
86	30	0,001	0,000	1,160	1,155	1,156	0,39	0,30
86	30	0,001	0,001	1,230	1,224	1,225	0,48	0,38
86	30	0,002	0,001	1,300	1,298	1,299	0,15	0,05
86	30	0,002	0,001	1,380	1,334	1,335	3,35	3,26
86	30	0,003	0,001	1,450	1,439	1,440	0,76	0,67
86	30	0,003	0,001	1,510	1,529	1,529	1,23	1,28
86	30	0,004	0,002	1,570	1,597	1,597	1,72	1,75
86	30	0,005	0,002	1,630	1,664	1,664	2,11	2,10
86	30	0,006	0,002	1,690	1,722	1,722	1,92	1,88
86	30	0,007	0,003	1,750	1,783	1,781	1,86	1,78
86	30	0,008	0,003	1,820	1,846	1,843	1,41	1,27
86	30	0,010	0,004	1,880	1,907	1,903	1,41	1,22
86	30	0,012	0,005	1,960	1,975	1,970	0,79	0,53
86	30	0,014	0,006	2,040	2,047	2,040	0,34	0,00
86	30	0,017	0,007	2,110	2,108	2,099	0,10	0,51
86	30	0,020	0,008	2,180	2,165	2,155	0,67	1,16
86	30	0,026	0,010	2,260	2,247	2,233	0,57	1,19
86	30	0,028	0,011	2,280	2,267	2,252	0,56	1,21

AAPD	1,15
AAPDm	1,18



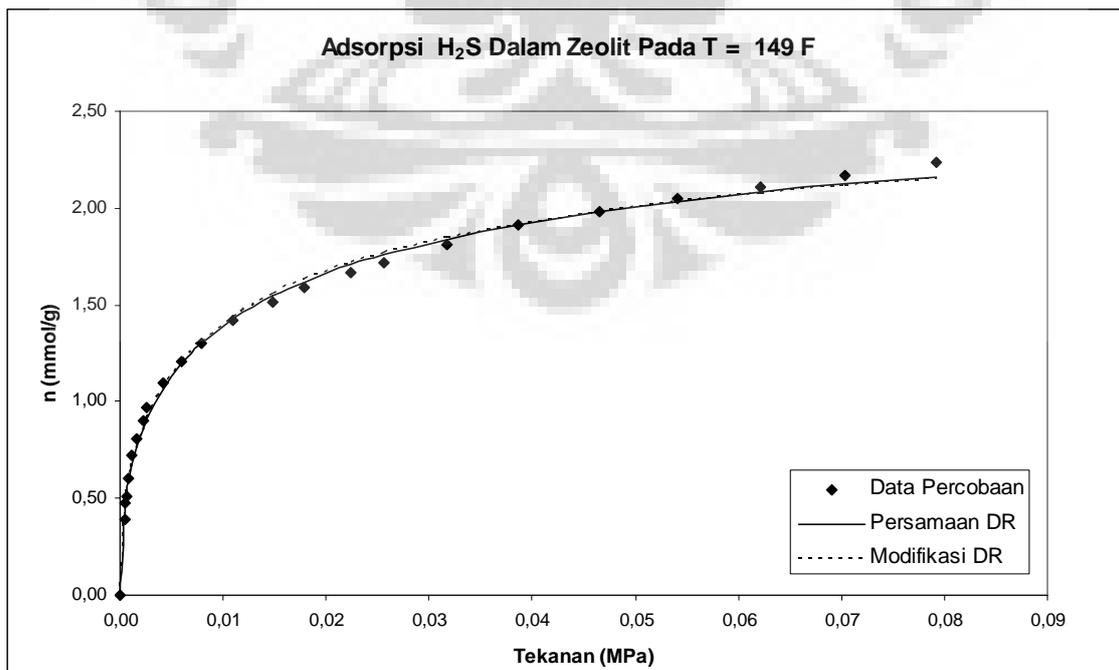
Lampiran B.9.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=149 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,605660013	2,4917091
P _{Si}	0,947461338	0,6519522
D	0,030216052	0,0328761
r _{ads}	0	27,220902

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
149	65	0,000	0,000	0,390	0,458	0,450	17,31	15,45
149	65	0,001	0,000	0,480	0,487	0,480	1,40	0,00
149	65	0,001	0,000	0,510	0,535	0,529	4,86	3,73
149	65	0,001	0,000	0,600	0,589	0,584	1,88	2,64
149	65	0,001	0,000	0,720	0,670	0,667	6,98	7,36
149	65	0,002	0,001	0,810	0,764	0,764	5,65	5,72
149	65	0,002	0,001	0,900	0,859	0,860	4,58	4,40
149	65	0,003	0,001	0,970	0,913	0,916	5,85	5,56
149	65	0,004	0,001	1,100	1,065	1,071	3,14	2,60
149	65	0,006	0,002	1,210	1,196	1,205	1,12	0,45
149	65	0,008	0,003	1,300	1,300	1,310	0,04	0,77
149	65	0,011	0,004	1,420	1,431	1,441	0,76	1,49
149	65	0,015	0,005	1,510	1,545	1,556	2,35	3,04
149	65	0,018	0,006	1,590	1,620	1,630	1,87	2,49
149	65	0,022	0,008	1,670	1,706	1,715	2,18	2,70
149	65	0,026	0,009	1,720	1,758	1,766	2,21	2,66
149	65	0,032	0,011	1,810	1,838	1,844	1,57	1,88
149	65	0,039	0,014	1,910	1,912	1,915	0,12	0,28
149	65	0,046	0,017	1,980	1,980	1,980	0,00	0,00
149	65	0,054	0,019	2,050	2,034	2,031	0,76	0,91
149	65	0,062	0,022	2,110	2,082	2,076	1,34	1,62
149	65	0,070	0,025	2,170	2,124	2,115	2,12	2,54
149	65	0,079	0,028	2,240	2,163	2,151	3,43	3,99

AAPD	3,11
AAPDm	3,14



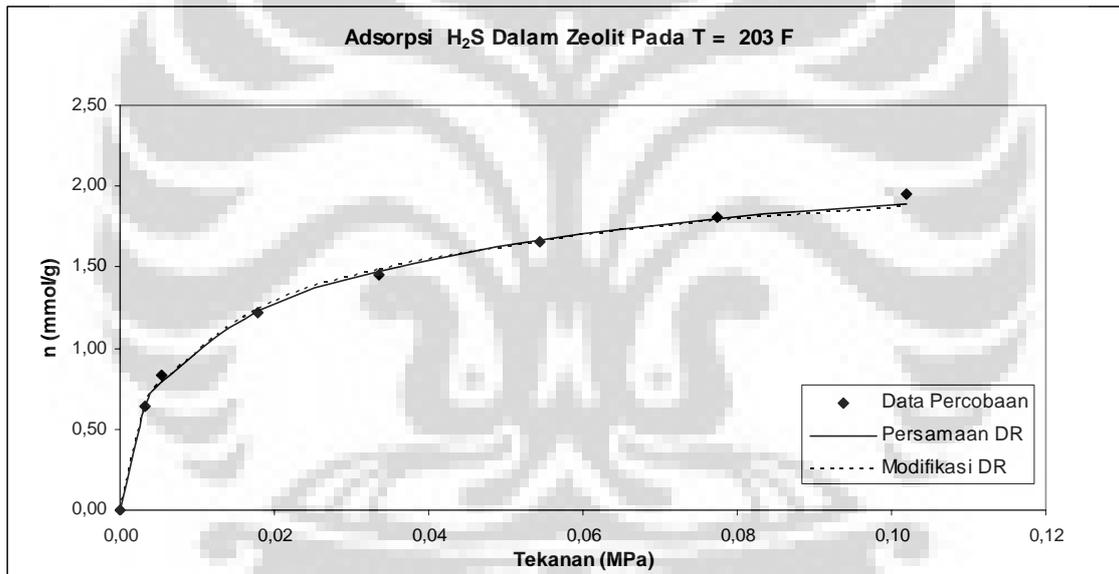
Lampiran B.9.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas H₂S dengan Menggunakan Adsorben Zeolit, pada T=203 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	2,359782693	2,2148437
P _{Si}	1,134302657	0,7599668
D	0,03782087	0,0413304
r _{ads}	0	27,008151

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
203	95	0,003	0,001	0,640	0,640	0,642	0,00	0,33
203	95	0,005	0,002	0,830	0,792	0,797	4,54	3,92
203	95	0,018	0,006	1,220	1,229	1,237	0,71	1,39
203	95	0,034	0,011	1,450	1,477	1,481	1,84	2,11
203	95	0,054	0,018	1,660	1,664	1,660	0,25	0,00
203	95	0,077	0,025	1,810	1,797	1,784	0,72	1,45
203	95	0,102	0,034	1,950	1,894	1,872	2,85	4,00

AAPD	1,56
AAPDm	1,89



Lampiran C Hasil Pengolahan Data Adsorpsi Gas dengan Asorben Batubara

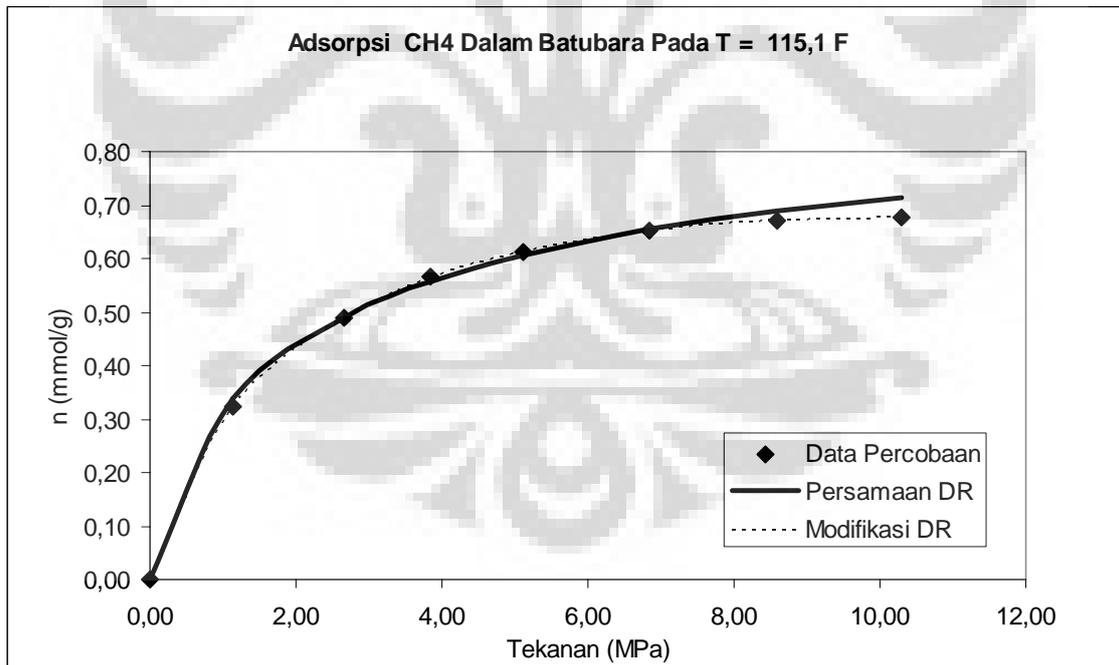
Lampiran C.1

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CH₄ dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada T=115,1 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	0,803206112	0,9671458
P _{Si}	36,82054205	43,919067
D	0,071782157	0,0809802
T _{ads}	0	25,814328

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ_{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
115,1	46,17	1,141	0,436	0,323	0,338	0,323	4,50	0,00
115,1	46,17	2,651	1,034	0,489	0,489	0,490	0,00	0,36
115,1	46,17	3,830	1,517	0,565	0,556	0,562	1,52	0,44
115,1	46,17	5,119	2,061	0,612	0,607	0,612	0,77	0,01
115,1	46,17	6,843	2,811	0,652	0,655	0,651	0,52	0,09
115,1	46,17	8,587	3,593	0,671	0,690	0,671	2,81	0,00
115,1	46,17	10,304	4,376	0,677	0,715	0,677	5,53	0,00

AAPD	2,24
AAPDm	0,13



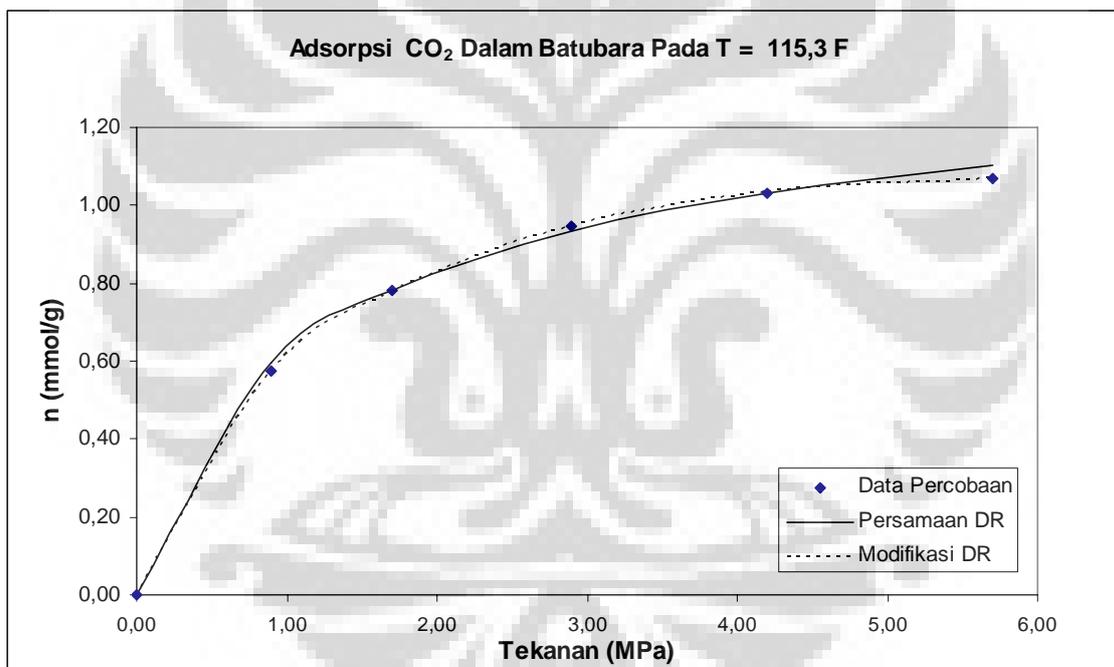
Lampiran C.2

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada T=115,3 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	1,245719278	1,5096109
P _{Si}	20,26333017	27,584448
D	0,076210576	0,0810821
r _{ads}	0	22,24788

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
115,3	46,28	0,900	0,352	0,575	0,595	0,575	3,51	0,00
115,3	46,28	1,700	0,688	0,780	0,780	0,779	0,00	0,09
115,3	46,28	2,900	1,246	0,944	0,934	0,944	1,11	0,00
115,3	46,28	4,200	1,946	1,031	1,031	1,034	0,06	0,27
115,3	46,28	5,700	2,940	1,071	1,102	1,071	2,89	0,01

AAPD	1,51
AAPDm	0,07



Lampiran C.3

Pengolahan Data Adsorpsi Gas CO₂ dengan Menggunakan Adsorben Batubara, pada T=115,3 °F.

	Pers. DR	Modifikasi
V _s	0,567960577	0,7581125
P _{Si}	87,95735469	126,9307
D	0,10024998	0,097699
r _{ads}	0	25,732954

Temp (°F)	Temp (°C)	P (MPa)	ρ _{gas} (mol/liter)	nG(mmol/g)	n Pers. DR	nModifikasi	APD	APDm
114,8	46,00	1,045	0,378	0,079	0,079	0,079	0,00	0,67
114,8	46,00	1,713	0,641	0,121	0,120	0,121	0,83	0,06
114,8	46,00	3,485	1,318	0,199	0,200	0,203	0,49	2,34
114,8	46,00	5,285	1,992	0,255	0,257	0,261	0,63	2,01
114,8	46,00	6,988	2,622	0,299	0,299	0,299	0,30	0,00
114,8	46,00	10,683	3,963	0,364	0,364	0,353	0,00	3,09

AAPD	0,37
AAPDm	1,36

