



## Optimasi Proses Penyerapan CO<sub>2</sub> dengan Adsorben Karbon Aktif Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan *Response Surface Methodology* (RSM)

<sup>1</sup>Novi Sylvia, <sup>2</sup>Lia Sobrina, <sup>3</sup>Nasrun  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh  
Jl. Medan-Banda Aceh. Lhokseumawe  
Blang Pulo, Lhokseumawe 24353  
\*email: [liasabrina2@gmail.com](mailto:liasabrina2@gmail.com)

### ABSTRACT

*Biogas purification from carbon dioxide compounds due to can reduce the calorific value of methane (CH<sub>4</sub>). One application used in this case is adsorption using activated carbon. This study aims to simulate the absorption of CO<sub>2</sub> using ANSYS R19.0 and to analyze percent adsorption, adsorption capacity and isothermal adsorption. Based on variations in bed height, flow rate and pressure, the highest percent percussion occurs at 10 cm bed height, 50 cm<sup>3</sup>/minute flow rate with a pressure of 1.4 atm and the lowest percent absorption occurs at 6 cm bed height, 150 cm<sup>3</sup>/minute flow rate with a pressure of 1.2 atm. Whereas the maximum absorption capacity occurs at 8 cm bed height, 50 cm<sup>3</sup>/minute flow rate at a pressure of 1.4 atm and minimum absorption capacity occurs at 8 cm bed height, flow rate of 150 cm<sup>3</sup>/minute at a pressure of 1 atm. This adsorption process occurs in the Langmuir isotherm with R<sup>2</sup> approaching 1, which is equal to 0.9151. The optimization results were obtained at a flow rate of 50 cm<sup>3</sup>/minute, bed height 9.46 cm and 1.4 atm pressure.*

**Keywords:** adsorption, biogas, activated carbon, percent adsorption, adsorption capacity

### ABSTRAK

Pemurnian biogas dari senyawa karbon dioksida dikarenakan dapat menurunkan nilai kalor gas metana (CH<sub>4</sub>). Salah satu aplikasi yang digunakan dalam hal ini yaitu adsorpsi menggunakan karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan penyerapan gas CO<sub>2</sub> menggunakan ANSYS R19.0 serta mengerahui persen penyerapan, kapasitas penyerapan dan isothermal adsorpsi. Berdasarkan variasi tinggi unggun, laju alir dan tekanan, maka persen penyerapan tertinggi terjadi pada tinggi unggun 10 cm, laju alir 50 cm<sup>3</sup>/menit dengan tekanan 1,4 atm dan persen penyerapan terendah terjadi pada tinggi unggun 6 cm, laju alir 150 cm<sup>3</sup>/menit dengan tekanan 1,2 atm. Sedangkan kapasitas penyerapan maksimum terjadi pada tinggi unggun 8 cm, laju alir 50 cm<sup>3</sup>/menit dengan tekanan 1,4 atm dan kapasitas penyerapan minimum terjadi pada tinggi unggun 8 cm, laju alir 150 cm<sup>3</sup>/menit dengan tekanan 1 atm. Proses adsorpsi ini terjadi pada

isoterm Langmuir dengan  $R^2$  mendekati 1, yaitu sebesar 0,9151. Hasil optimasi diperoleh pada laju alir  $50 \text{ cm}^3/\text{menit}$ , tinggi unggun  $9,46 \text{ cm}$  dan tekanan  $1,4 \text{ atm}$ .

**Kata kunci:** Adsorpsi, Biogas, Karbon aktif, Persen penyerapan, Kapasitas penyerapan

---

## 1. Pendahuluan

Saat ini dibutuhkan sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (Rachman dkk, 2017). Salah satu penggunaan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar ramah lingkungan adalah biogas.

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang memiliki kelebihan di antaranya sumber yang terbarukan, murah, efisien dan lebih ramah lingkungan. Pada umumnya komposisi biogas terdiri dari  $\text{CH}_4$  (55-75%),  $\text{CO}_2$  (25-50%) dan sisanya sedikit gas-gas lain (Damayanti dkk, 2015). Terlihat jelas dari komposisi biogas bahwa kelemahan utamanya adalah kandungan  $\text{CO}_2$  yang tinggi yang secara signifikan mengurangi nilai kalor biogas. Oleh karena itu, untuk tujuan memanfaatkan biogas sebagai sumber energi, diperlukan penghilangan  $\text{CO}_2$  sebelum pemanfaatan.

Ada sejumlah metodologi yang tersedia untuk menghilangkan  $\text{CO}_2$  dari biogas. Meskipun teknologi pengembangan baru memberikan kinerja yang baik, namun pelaksanaannya dalam skala kecil dan di negara-negara berkembang masih belum menguntungkan pada saat ini. Oleh karena itu, teknologi berbasis adsorpsi akan sesuai dengan kebutuhan untuk implementasi di negara-negara berkembang karena kebutuhan energi untuk regenerasi rendah sehingga biaya yang dibutuhkan tidak terlalu mahal,  $\text{CO}_2$  yang diserap cukup tinggi, laju reaksi cepat, mudah dioperasikan dan *pressure drop* rendah (Saxena dkk, 2014). Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif karena mudah dibuat dari berbagai sumber biomassa pertanian yang melimpah di setiap daerah Indonesia.

Penelitian tentang penyerapan gas  $\text{CO}_2$  dengan menggunakan proses adsorpsi dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu penelitian secara eksperimen dan penelitian dengan menggunakan simulasi. CFD telah digunakan untuk

mempelajari fenomena aliran yang melibatkan momentum, transfer panas dan massa untuk tujuan desain dan optimalisasi peralatan proses. Metode tersebut adalah alat yang cocok untuk digunakan ketika kinerja proses ditentukan oleh dinamika fluida. Sehubungan dengan penelitian ini, CFD digunakan untuk mempelajari fenomena adsorpsi dan kinerja adsorben pada penghilangan CO<sub>2</sub>. Dan dilakukan optimasi untuk menentukan nilai optimum pada berbagai macam variasi geometri pada kolom adsorber. Proses optimasi dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) yang menggunakan pendekatan *Desirability Function* (DF) dengan rancangan Box-Behnken. Jenis adsorben karbon aktif digunakan dalam pemodelan kolom adsorpsi jenis *fixed-bed* dengan memvariasikan tinggi unggun adsorben, tekanan dan laju aliran gas memasuki kolom. Karakteristik kesetimbangan dari proses adsorpsi CO<sub>2</sub> dievaluasi melalui pengujian data dengan berbagai model isoterm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah proses adsorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan karbon aktif mengikuti mekanisme isoterm Langmuir atau Freundlich. Dari hasil penelitian, diperoleh data-data yang dapat digunakan untuk melakukan pendekatan dengan isoterm Langmuir dan Freundlich. Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk melihat mekanisme penyerapan dari adsorben pada proses adsorpsi.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini mensimulasikan sebuah kolom adsorpsi dengan bahan yang akan diserap berupa CO<sub>2</sub> dengan menggunakan adsorben karbon aktif. Alat yang digunakan adalah sebuah komputer PC dengan *software* yang digunakan berupa perangkat lunak komersil ANSYS R19.0 dan *Design Expert*. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah diameter partikel 0,92 mm, bed porosity *activated carbon* ( $\epsilon$ ) 0,399, temperatur 30°C dan tinggi kolom adsorber 30 cm dengan diameter 5 cm. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju alir 50, 100 dan 150 cm<sup>3</sup>/menit, tinggi unggun 6,8 dan 10 cm serta tekanan 1, 1,2 dan 1,4 atm. Sedangkan variabel

terikat pada penelitian ini adalah persen penyerapan (%), isoterm langmuir dan freunlich serta kapasitas penyerapan (mg/gr).

Nilai DF besarnya nol sampai dengan satu. Nilai DF yang mendekati satu menandakan bahwa kombinasi variabel bebas dapat mencapai kombinasi optimal sesuai dengan variabel terikat yang dikehendaki, sedangkan nilai DF mendekati nol menandakan bahwa kombinasi variabel bebas sulit mencapai titik optimal berdasarkan variabel terikatnya. Variabel bebas yaitu: laju alir ( $X_1$ ), tinggi unggun ( $X_2$ ) dan tekanan ( $X_3$ ). Rancangan disajikan pada Tabel 1. Persamaan adalah:

$$Y_k = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon_j \quad (1)$$

Tabel 1. Faktor dan Level pada Variabel Bebas

Variabel Bebas	Level Kode dan Range		
	-1	0	+1
Laju alir, cm <sup>3</sup> /min	50	100	150
Tinggi unggun, cm	6	8	10
Tekanan	1	1.2	1.4

Analisa optimasi proses dilakukan dengan cara melakukan pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Design-Expert versi 6*. Untuk mendapatkan bentuk permukaan respon dan plot kontur serta analisis keragaman dari respon penelitian. Pengkodean (+1, 0 dan -1) dan nilai aslinya untuk masing-masing faktor. Hubungan antara nilai-nilai ini ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$Z = \frac{X - X_0}{\Delta X} \quad (2)$$

dimana z merupakan nilai pengkodean, X adalah nilai asli yang berkaitan, sedangkan  $X_0$  adalah nilai tengah domain.  $\Delta X$  menunjukkan kenaikan X terhadap satu satuan Z (Garg dkk, 2008).

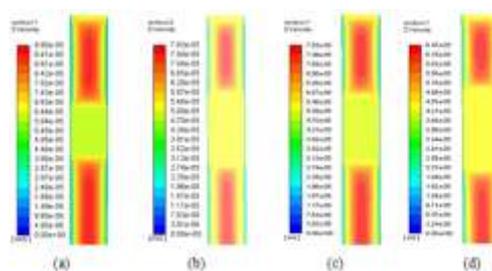
$$Y = \frac{C_{A_0} - C_A}{C_{A_0}} \quad (3)$$

dimana  $Y$  adalah persentase  $\text{CO}_2$  terserap,  $C_{A0}$  konsentrasi  $\text{CO}_2$  awal, and  $C_A$  adalah konsentrasi  $\text{CO}_2$  akhir.

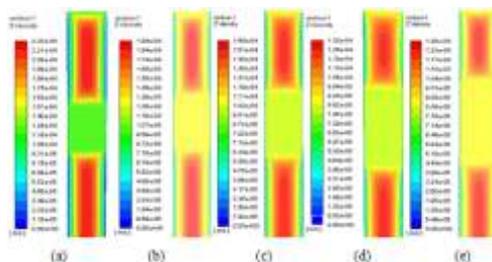
### 3. Hasil dan Diskusi

Tinggi unggun merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi persen penyerapan. Menurut teori, semakin tinggi unggun maka persen penyerapan akan semakin besar, karena adsorben menjadi semakin banyak sehingga tempat terjadinya kontak antara fluida gas dan adsorben semakin banyak pula (Yelmida & Alfarisi, 2010). Dan semakin tinggi tekanan penyerapan maka persen penyerapan  $\text{CO}_2$  pada karbon aktif akan semakin tinggi pula. Hal tersebut terjadi karena semakin besar tekanan yang diberikan, maka akan menambah tumbukan antara  $\text{CO}_2$  dengan adsorben, sehingga  $\text{CO}_2$  yang terserap akan banyak pula. Akan tetapi, semakin besar laju aliran masuk maka persen penyerapan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan  $\text{CO}_2$  memiliki sedikit waktu untuk terdifusi ke dalam pori-pori karbon aktif dan mengakibatkan waktu tinggal gas di dalam unggun adsorben semakin singkat pula (Ahmad, 2012).

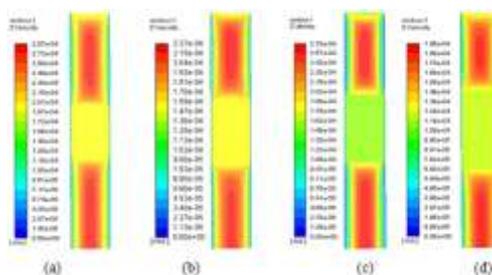
Pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 2 menampilkan kontur laju alir fluida pada kolom adsorpsi dengan variasi laju alir, tinggi unggun dan tekanan dimana warna biru menunjukkan laju alir terendah sedangkan warna merah menunjukkan laju alir tertinggi.



Gambar 1. Kontur Laju Alir Fluida pada  $50 \text{ cm}^3/\text{menit}$  (a) Tinggi Unggun 6 cm Tekanan 1,2 atm, (b) Tinggi Unggun 8 cm Tekanan 1 atm, (c) Tinggi Unggun 8 cm Tekanan 1,4 atm dan (d) Tinggi Unggun 10 cm Tekanan 1,2 atm

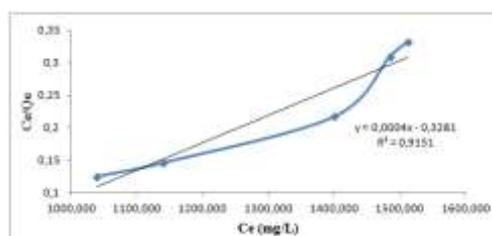


Gambar 2. Kontur Laju Alir Fluida pada  $100 \text{ cm}^3/\text{menit}$  (a) Tinggi Unggun 6 cm Tekanan 1 atm, (b) Tinggi Unggun 6 cm Tekanan 1,4 atm, (c) Tinggi Unggun 8 cm Tekanan 1,2 atm dan (d) Tinggi Unggun 10 cm Tekanan 1 atm



Gambar 3. Kontur Laju Alir Fluida pada  $150 \text{ cm}^3/\text{menit}$  (a) Tinggi Unggun 6 cm Tekanan 1,2 atm, (b) Tinggi Unggun 8 cm Tekanan 1 atm, (c) Tinggi Unggun 8 cm Tekanan 1,4 atm dan (d) Tinggi Unggun 10 cm Tekanan 1,2 atm

Kurva isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4.

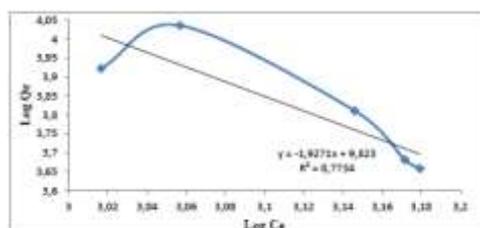


Gambar 4. Pengaruh  $C_e$  dengan  $C_e/Q_e$  pada Isoterm Langmuir

Gambar 4 merupakan grafik isoterm Langmuir, dengan nilai  $R^2$  adalah 0,915. Berdasarkan nilai  $y$  yang diperoleh maka didapatkan nilai  $q_m$  sebesar 10.000 dan konstanta langmuirnya yaitu  $3,1 \times 10^{-4}$ . Konstanta isotermal Langmuir berkaitan dengan pola ikatan yang terbentuk antara adsorben dan adsorbat. Nilai  $q_m$  dari Langmuir menggambarkan ikatan antara adsorben dan fluida gas mampu

membentuk lapisan monolayer dalam jumlah yang signifikan. Nilai  $q_m$  menunjukkan kapasitas penyerapan maksimum atau jenuh dimana semua bagian penyerapan telah penuh, dengan terbentuknya lapisan pada permukaan adsorben.

Kurva isoterm Freundlich ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Log Ce dengan Log Qe pada Isoterm Freundlich

Dari Gambar yang merupakan grafik isotermal Freundlich dapat dilihat bahwa nilai  $R^2$  adalah 0,773. Berdasarkan nilai  $y$  yang diperoleh maka didapatkan nilai  $n$  sebesar -0,519 dan nilai konstanta Freundlich yaitu  $6,652 \times 10^9$ . Pada isoterm Freundlich terjadi adsorpsi permukaan yang beragam (adsorpsi multilayer).

Pada penelitian ini kesesuaian ikatan  $CO_2$  dengan adsorben tersebut mengikuti model Langmuir mengindikasikan proses penyerapan berlangsung secara monolayer. Hal ini dibuktikan dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga koefisien determinasi  $R$  paling mendekati angka 1. Adsorben karbon aktif mampu menyerap  $CO_2$  dikarenakan mempunyai pH basa, sedangkan gas  $CO_2$  bersifat asam sehingga karbon aktif dapat menyerap gas  $CO_2$ , selain itu juga dikarenakan kandungan senyawa karbon (C) yang terdapat pada karbon aktif.

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai persen penyerapan dan kapasitas penyerapan antara eksperimen dengan prediksi. Meninjau tabel tersebut terlihat bahwa persentase kesalahan pada setiap titik yang ditinjau cukup kecil dengan kesalahan yang terjadi pada persen penyerapan rata-rata  $\pm 0,00088\%$  dan pada kapasitas penyerapan prata-rata  $\pm 0,00082\%$ . Hasil kesalahan yang relatif cukup kecil, ini dapat disimpulkan bahwa model yang diusulkan cukup absah untuk menyatakan hubungan antara variabel terikat persen penyerapan dan kapasitas penyerapan dengan variabel bebas laju alir gas masuk, tinggi unggun dan tekanan.

Validasi hasil prediksi terhadap data hasil eksperimen merupakan salah satu cara untuk membuktikan keabsahan model yang diusulkan. Persamaan model korelasi variabel terikat terhadap variabel bebas adsorpsi adalah:

Tabel 2. Validasi Hasil Prediksi Model terhadap Data Eksperimen

Run	Variabel Bebas			Variabel Terikat					
	Laju Alir	Tinggi Unggun	Tekanan	Persen Penyerapan (Y <sub>1</sub> )			Kapasitas Penyerapan (Y <sub>2</sub> )		
				Eks	Pred	Kesalahan (%)	Eks	Pred	Kesalahan (%)
1	100	8	1,2	69	70,00	-0,014	7736,84	7851,11	-0.015
2	150	8	1	53	54,75	-0,033	5936,84	6112,08	-0,030
3	100	8	1,2	69	70,00	-0,014	7736,84	7851,11	-0.015
4	100	6	1	57	52,63	0,077	7831,58	7373,21	0,059
5	100	8	1,2	69	70,00	-0,014	7736,84	7851,11	-0.015
6	150	6	1,2	48	48,13	-0,003	6631,58	6867,51	-0,036
7	150	10	1,2	75	72,13	0,038	7073,68	6589,97	0,068
8	100	8	1,2	69	70,00	-0,014	7736,84	7851,11	-0.015
9	50	6	1,2	67	67,88	-0,013	9221,05	9112,24	0,012
10	100	8	1,2	69	70,00	-0,014	7736,84	7851,11	-0.015
11	50	10	1,2	94	91,88	0,023	8873,68	8834,70	0,004
12	100	10	1	77	76,63	0,005	7236,16	7095,67	0,019
13	50	8	1	72	74,50	-0,035	8021,05	8356,81	-0,042
14	100	6	1,4	61	63,38	-0,039	8431,58	8606,54	-0,021
15	50	8	1,4	90	85,25	0,053	10105,26	9590,14	0,051
16	150	8	1,4	68	65,50	0,037	7600,00	7345,41	0,033
17	100	10	1,4	83	87,38	-0,053	7822,11	8329,00	-0,065

$$Y_1 = 9,5 - 0,1975X_1 + 6X_2 + 26,875X_3 \quad (4)$$

$$Y_2 = 6950,92912 - 22,44735X_1 - 69,385X_2 + 3083,325X_3 \quad (5)$$

Dimana:  $X_1$ = Laju alir,  $X_2$ = Tinggi unggun,  $X_3$ = Tekanan,  $Y_1$ = Persen penyerapan, Dimana:  $X_1$ = Laju alir,  $X_2$ = Tinggi unggun,  $X_3$ = Tekanan,  $Y_1$ = Persen penyerapan,  $Y_2$ = Kapasitas penyerapan

Pada persamaan 4 dan 5 tanda positif menandakan pengaruh secara sinergis sedangkan tanda negatif menandakan pengaruh berlawanan. Nilai koefisien determinasi,  $R^2$  untuk persamaan 4 sebesar 0,9555 sedangkan untuk persamaan 5 sebesar 0,9071. Hal ini menandakan bahwa model linear sangat signifikan dan cukup layak untuk mewakili hubungan antara variabel respon dengan variabel bebas. Untuk membuktikan kelayakan model linear ini perlu dilakukan analisa lebih lanjut melalui analisa varian dan uji kelayakan model.

Tabel 3. Analisa Varian (ANOVA) untuk Persen Penyerapan

<b>Faktor</b>	<b>Sum square</b>	<b>Df</b>	<b>Mean square</b>	<b>Value</b>	<b>P Value Prob(p)&gt;F</b>	<b>Keterangan</b>
Model	2163,25	3	721,08	93,04	< 0,0001	Signifikan
$X_1$ -Laju Alir	780,12	1	780,12	100,66	< 0,0001	
$X_2$ -Tinggi Unggun	1152,00	1	1152,00	148,65	< 0,0001	
$X_3$ -Tekanan	231,13	1	231,13	29,82	0,0001	
<i>Residual</i>	100,75	13	7,75	-	-	
<i>Lack of Fit</i>	100,75	9	11,19	-	-	
<i>Pure Error</i>	0	4	0	-	-	
<i>Cor Total</i>						

Hasil analisa varian model linear persen penyerapan ditunjukkan pada Tabel 3. Analisa diperoleh dengan melihat kesesuaian seluruh variabel bebas dengan model linear. Jika nilai probabiliti (Prob > F) untuk seluruh koefisien menunjukkan lebih kecil dari 0,05 maka koefisien tersebut signifikan atau

berpengaruh secara nyata pada eksperimen. Namun jika nilai probabiliti (Prob > F) lebih besar dari 0,1 maka model yang ditunjukkan tidak signifikan. ANOVA untuk model linear, variabel X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub> memiliki nilai probabiliti (Prob > F) lebih kecil dari 0,05 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini menunjukkan bahwa model linear, variabel X<sub>1</sub>= laju alir, X<sub>2</sub>= tinggi unggun, X<sub>3</sub>= tekanan berpengaruh secara nyata terhadap persen penyerapan.

Tabel 4. Analisa Varian (ANOVA) untuk Kapasitas Penyerapan

<b>Faktor</b>	<b>Sum square</b>	<b>df</b>	<b>Mean square</b>	<b>Value</b>	<b>P Value Prob(p)&gt;F</b>	<b>Keterangan</b>
Model	1,327e+07	3	4,425e+06	42,32	< 0,0001	Signifikan
X <sub>1</sub> -Laju Alir	1,008e+07	1	1,008e+07	96,38	< 0,0001	
X <sub>2</sub> -Tinggi Unggun	1,541e+05	1	1,541e+05	1,47	0,2464	
X <sub>3</sub> -Tekanan	3,042e+06	1	3,042e+06	29,10	0,0001	
<i>Residual</i>	1,359e+06	13	1,046e+05	-	-	
<i>Lack of Fit</i>	1,359e+06	9	1,510e+05	-	-	
<i>Pure Error</i>	0	4	0	-	-	
<i>Cor Total</i>	1,463e+07	16	-	-	-	

Hasil analisa varian model linear kapasitas penyerapan ditunjukkan pada Tabel 4. Analisa varian ini juga dilakukan dengan melihat kesesuaian seluruh variabel bebas dengan model linear. ANOVA untuk model linear, nilai probabiliti (Prob > F) untuk model linear variabel X<sub>1</sub> dan X<sub>3</sub> memiliki nilai lebih kecil dari 0,05, hal ini menunjukkan bahwa model linear, variabel X<sub>1</sub>= laju alir dan X<sub>3</sub>= tekanan berpengaruh secara nyata terhadap kapasitas penyerapan. Secara garis besar model linear dan ketiga variabel bebas berpengaruh secara signifikan pada persen penyerapan dan kapasitas penyerapan.

Tabel 5. Uji Kelayakan Model Linear Persen Penyerapan

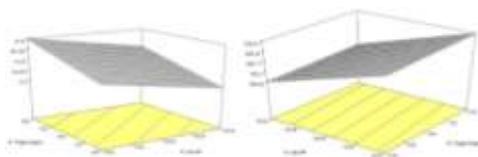
<i>Source</i>	<i>Sum of squares</i>	<b>DF</b>	<i>Mean square</i>	<b>F-value</b>	<b>Prob&gt;F</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Sequential model sum of square</i>						
<i>Mean</i>	83300	1	83300	-	-	
<i>Linear</i>	2163,25	3	721,08	93,04	< 0,0001	Disarankan
2FI	3,25	3	1,08	0,11	0,9516	
<i>Quadratic</i>	12,25	3	4,08	0,34	0,8006	
<i>Cubic</i>	85,25	3	28,41	6,366e+07	<0,0001	Aliased
<i>Residual</i>	0	4	0	-	-	
Total	85564	17	5033,18	-	-	
<i>Lack of Fit Test</i>						
<i>Linear</i>	100,75	9	11,19	-	-	-
2FI	97,50	6	16,25	-	-	-
<i>Quadratic</i>	82,25	3	28,42	-	-	-
<i>Cubic</i>	0	0	-	-	-	-
<i>Pure Error</i>	0	4	0	-	-	-
<i>Model summary statistic</i>						
<i>Source</i>	Std.Dev	R <sup>2</sup>	Adj. R <sup>2</sup>	Pred. R <sup>2</sup>	PRESS	Keterangan
<i>Linear</i>	2,78	0,9555	0,9452	0,9090	206,07	Disarankan
2FI	3,12	0,9569	0,9311	0,7876	480,89	
<i>Quadratic</i>	3,49	0,9623	0,9139	0,3975	1364,00	
<i>Cubic</i>	0	1	1		+	Aliased

Gambar 6 memperlihatkan bentuk interaksi dan hubungan antara variabel terikat (kiri) persen penyerapan dan (kanan) kapasitas penyerapan terhadap variabel bebas X<sub>1</sub>= laju alir dan X<sub>2</sub>= tinggi unggun dimana X<sub>3</sub>= tekanan. Dari plot permukaan pada Gambar 6 (kiri) terlihat jelas bahwa ketika variabel X<sub>3</sub>= tekanan ditetapkan konstan, perubahan laju alir dan tinggi unggun sangat mempengaruhi persen penyerapan. Namun dalam bentang plot permukaan terlihat jelas terdapat posisi dan nilai maksimum persen penyerapan tepat pada laju alir=

50 cm<sup>3</sup>/menit dan tinggi unggun= 10 sama seperti yang diperoleh melalui analisis fungsi keinginan pada Tabel 4.7. Menilik pada Gambar 5.9 (kanan), juga terlihat jelas bahwa perubahan nilai laju alir dan tinggi unggun secara signifikan mempengaruhi kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> oleh kolom adsorpsi. Bentang plot permukaan juga menjelaskan adanya posisi dan nilai maksimum kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> di posisi laju alir= 50 cm<sup>3</sup>/menit dan tinggi unggun=6.

Tabel 6. Uji Kelayakan Linear Kapasitas Penyerapan

<i>Source</i>	<i>Sum of squares</i>	<i>DF</i>	<i>Mean square</i>	<i>F-value</i>	<i>Prob&gt;F</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Sequential model sum of square</i>						
<i>Mean</i>	1,048e+09	1	1,048e+09	-	-	
<i>Linear</i>	1,327e+07	3	4,425e+06	42,32	< 0,0001	Disarankan
2FI	2,002e+05	3	66728,62	0,58	0,6439	
<i>Quadratic</i>	1,229e+05	3	40952,83	0,28	0,8407	
<i>Cubic</i>	1,036e+06	3	3,454+05	6,366e+07	<0,0001	Aliased
<i>Residual</i>	0	4	0	-	-	
Total	1,063e+09	17	6,250e+07	-	-	
<i>Lack of Fit Test</i>						
<i>Linear</i>	1,359e+06	9	1,510e+05	-	-	-
2FI	1,159e+06	6	1,932e+05	-	-	-
<i>Quadratic</i>	1,036e+06	3	3,454e+05	-	-	-
<i>Cubic</i>	0	0	-	-	-	-
<i>Pure Error</i>	0	4	0	-	-	-
<i>Model summary statistic</i>						
<i>Source</i>	<i>Std.Dev</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>Adj. R<sup>2</sup></i>	<i>Pred. R<sup>2</sup></i>	<i>PRESS</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Linear</i>	323,36	0,9071	0,8857	0,8099	2,782e+06	Disarankan
2FI	340,45	0,9208	0,8733	0,6109	5,693e+06	
<i>Quadratic</i>	384,75	0,9292	0,8381	-0,1330	1,658e+07	
<i>Cubic</i>	0	1,000	1,000		+	Aliased



Gambar 6. Grafik Tanggap Permukaan untuk (Kiri) Persen Penyerapan ( $Y_1$ ) dan (Kanan) Kapasitas Penyerapan ( $Y_2$ ) terhadap Faktor A ( $X_1$ = Laju Alir) dan B ( $X_2$ = Tinggi Unggun)

Tabel 7. Analisa Optimasi dengan Batasan

Laju Alir ( $X_1$ )	Tinggi Unggun ( $X_2$ )	Tekanan ( $X_3$ )	Persen Penyerapan (%)	Kapasitas Penyerapan (mg/gr)	Fungsi Keinginan ( <i>Desirability Function, DF</i> )
50	9,46	1,4	94,0007	9488,93	0,923

Tabel 7 merupakan hasil kalkulasi optimasi oleh *Design-expert* mengikuti prosedur yang telah dijelaskan. Perhitungan optimasi dilakukan dengan menekan kapasitas penyerapan ( $Y_2$ ) dan persen penyerapan ( $Y_1$ ) berada kondisi maksimum yang ditunjukkan pada Tabel 7. Dari hasil optimasi ini diperoleh laju alir= 50  $\text{cm}^3/\text{menit}$ , tinggi ungun= 9,46 cm dan tekanan= 1,4 atm.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diperoleh bahwa kesesuaian ikatan  $\text{CO}_2$  dengan adsorben mengikuti model Langmuir sehingga mengindikasikan proses penyerapan berlangsung secara monolayer.

#### 5 Daftar Pustaka

1. Amin, S., 2009. "Cocopreneurship". Yogyakarta : Lily Publisher.
2. Badan Standarisasi Nasional, 2008. "Minyak Kelapa Virgin Coconut Oil (VCO)" SNI 7381:2008.

3. Cahyono, L. U., 2012. *Proses Pembuatan VCO (Virgin Coconut oil) dengan Fermentasi menggunakan Starter Tempe*. Jurnal Teknik Kimia, Universitas Diponegoro.
4. Diyah, N. W., 2010. *Pembuatan Minyak Kelapa Secara Enzimatis dengan Memanfaatkan Kulit Buah dan Biji Pepaya Serta Analisis Sifat Fisikokimianya*. Departement Kimia, Universitas Airlangga.
5. Effendi, AM., 2012. *Optimalisasi Penggunaan Enzim Bromelin dari Sari Bonggol Nanas dalam Pembuatan Minyak Kelapa*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Universitas Negeri Semarang.
6. Fajrin, E., 2012. *Application of the Bromelain Enzyme in the Making of Coconut (Cocos nucifera) Oil Enzymatically*". Universitas Hasanuddin. Makassar.
7. Ferdiansyah, V. 2005. *Pemanfaatan Kitosan dari Cangkang Udang Sebagai Matriks Penyangga pada Imobilisasi Enzim Protease*. Skripsi. Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
8. Fesesenden, Ralp J, dan Jan, Fessenden, 1982."*Kimia Organik*", Edisi III, Erlangga, Jakarta.
9. Ketaren, S., 1986, *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
10. Moeksin, R., 2008. *Pengaruh Penambahan Papain Terhadap Kualitas VCO dengan Metode Enzimatis, Sentrifugasi dan Pemanasan*. Jurnal Teknik Kimia, No. 1, Vol. 15. Universitas Sriwijaya.
11. Rindengan, B., dan Hengky, N., 2004, *Pembuatan & Pemanfaatan Minyak Kelapa Murni*, Penebar Swadaya, Jakarta.
12. Setiaji, B dan Surip P., 2006, *Membuat VCO Berkualitas Tinggi*, Penebar Swadana, Jakarta.
13. Widayat, dkk., 2005. *Pembuatan Asam Sitrat dari Buangan Padat Buah Nanas dengan Fermentasi Fase Cair dalam Bioreaktor Bergelembung*. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro.