



Pemodelan Matematis Dan Penyelesaian Numeris Pada Absorpsi CO₂ Dalam Biogas Menggunakan Kolom Bahan Isian Dengan Larutan *Methyldiethanolamine* (MDEA)

Sari Sekar Ningrum^{1,*}, Aswati Mindaryani², Muslikhin Hidayat³ dan Syafrima Wahyu⁴

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Binawan

^{2,3}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

⁴Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Binawan

*) email: sarisekarningrum@gmail.com

(Received 31-Oct-19 • Revised 17-Nov-19 • Accepted 29-Nov-2019)

Abstract

Biogas is renewable energy developed to substitute fossil energy. The existence of high CO₂ can inhibit the efficiency of biogas. Therefore, biogas purification is needed by reducing CO₂ levels in biogas. The reduction of CO₂ levels in biogas can be made by means of absorption using MDEA in the material column. The CO₂ absorption experiment was carried out continuously in the absorption column with a diameter of 6 cm and a length of 75 cm, and the packing material was a copper spiral and a liquid flow rate of 0.15 L min. The variation of gas flow rate used in this study is 1 LPM; 1.5 LPM; and 1.8 LPM. The variation of the MDEA solution used is 20% and 35.31%. The concentration of CO₂ gas coming out of the top of the column is recorded as a function of time. The data obtained are entered into a mathematical model so that the values obtained are K_{Ga} and k_2 . At a gas flow rate of 1 L/min; 1.5 L/min and 1.8 L/min with 20% by weight MDEA concentration obtained gas mass transfer coefficient (K_{Ga}) in the range of 0.0170 mol/min.atm.L to 0.0210 mol/min.atm.L and the reaction speed constant was 450 L/mol.min while in MDEA concentration 35.35% by weight, gas mass transfer coefficient (K_{Ga}) ranged from 0.0190 mol/min.atm.L to 0.0215 mol/min.atm.L and the rate constant is 450 L/mol.min.

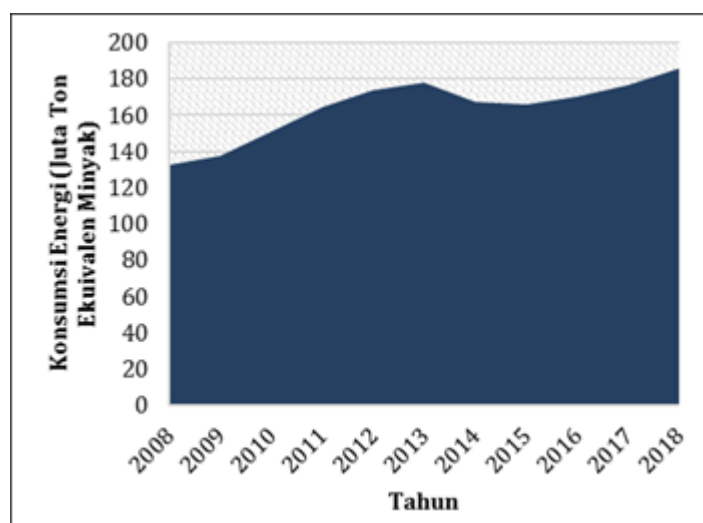
Abstrak

Biogas merupakan energi terbarukan yang dikembangkan untuk mensubstitusi energi yang berasal dari fosil. Keberadaan CO₂ yang tinggi dapat menghambat efisiensi biogas. Oleh sebab itu, dibutuhkan pemurnian biogas dengan melakukan pengurangan kadar CO₂ pada biogas. Pengurangan kadar CO₂ pada biogas dapat dilakukan dengan cara absorpsi menggunakan MDEA pada kolom bahan isian. Percobaan absorpsi CO₂ dilakukan secara kontinyu di dalam kolom absorpsi dengan diameter 6 cm dan panjang 75 cm, bahan isian berupa spiral tembaga dan laju alir cairan 0,15 L/menit. Variasi laju alir gas yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 LPM, 1,5 LPM dan 1,8 LPM. Variasi larutan MDEA yang digunakan adalah 20 % dan 35,31 %. Konsentrasi gas CO₂ yang keluar dari bagian atas kolom dicatat sebagai fungsi waktu. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam model matematis sehingga kemudian diperoleh nilai K_{Ga} dan k_2 . Pada laju alir gas 1 L/menit; 1,5 L/menit dan 1,8 L/menit dengan konsentrasi MDEA 20% berat diperoleh koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) kisaran 0,0170 mol/min.atm.L hingga 0,0210 mol/min.atm.L dan konstanta kecepatan reaksi sebesar 450 L/mol.min sedangkan pada konsentrasi MDEA 35,35% berat diperoleh koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) kisaran 0,0190 mol/min.atm.L hingga 0,0215 mol/min.atm.L dan konstanta kecepatan reaksi sebesar 450 L/mol.min.

Keywords: absorption, biogas purification, CO₂ removal, MDEA, packed column

PENDAHULUAN

Permasalahan Penggunaan energi fosil yang merupakan sumber energi utama di Indonesia saat ini dari tahun ke tahun semakin meningkat. Pada Gambar 1 dapat dilihat konsumsi energi di Indonesia dari Tahun 2008 sampai dengan tahun 2018 mengalami kenaikan. Berdasarkan data dari *BP Statistical Review of World Energy* tahun 2019, pada tahun 2018 konsumsi energi di Indonesia meningkat sebesar 4,9 % dari tahun 2017 sebesar 176,9 juta ton/tahun meningkat menjadi 185,5 juta ton/tahun pada tahun 2018. Meningkatnya konsumsi terhadap energi fosil dapat menyebabkan cadangan energi yang berasal dari fosil semakin berkurang. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi semakin berkurangnya cadangan energi yang berasal dari fosil dilakukan usaha untuk mencari energi alternatif yang terbarukan.



Gambar 1. konsumsi energi di Indonesia Tahun 2008 – 2018^[1]

Sumber energi yang terus dikembangkan untuk mengantisipasi semakin berkurangnya energi yang berasal dari fosil adalah energi baru terbarukan (EBT), yang mana salah satunya adalah biogas. Komposisi kandungan gas pada biogas bermacam – macam, tergantung dari bahan baku biogas tersebut seperti yang tertera pada Tabel 1. Kandungan metana pada biogas merupakan sumber energi yang berharga, sedangkan CO₂ yang terdapat pada biogas dapat menghambat efisiensi energi[2]. Oleh karena itu, kandungan CO₂ pada biogas harus diperkecil atau dihilangkan untuk meningkatkan efisiensi biogas.

Tabel 1. Komposisi kandungan gas pada biogas berdasarkan bahan baku[3]

Sumber	Komponen	Kandungan (%)
<i>Sewage digester</i>	Metana (CH ₄)	55 – 65
	Karbondioksida (CO ₂)	35 – 40
	Nitrogen (N ₂)	< 1
Limbah organik	Metana (CH ₄)	60 – 70
	Karbondioksida (CO ₂)	30 – 40
	Nitrogen (N ₂)	< 1
<i>Landfills</i>	Metana (CH ₄)	45 – 50
	Karbondioksida (CO ₂)	30 – 40
	Nitrogen (N ₂)	5 – 15

Untuk memperkecil atau menghilangkan kandungan CO₂ pada biogas dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan metode absorpsi. Absorpsi merupakan operasi pemisahan solut dari fase gas ke fase cair, yaitu dengan mengontakkan gas yang bersifat solut dengan pelarut cair (*solven*/absorben). Absorpsi dapat dilakukan secara fisik ataupun kimia (melibatkan reaksi). Salah satu keuntungan absorpsi secara kimia adalah dengan adanya reaksi pada absorpsi secara kimia dapat meningkatkan penyerapan gas oleh pelarut. Absorpsi CO₂ secara kimia menggunakan larutan absorben berbasis *amine* adalah salah satu metode yang dikenal paling efektif [4][5]. Salah satu pelarut *amine* yang digunakan untuk pemurnian biogas dari CO₂ adalah menggunakan larutan *methyldietaholamine* (MDEA).

Pemurnian biogas dengan memperkecil atau menghilangkan kandungan CO₂ dilakukan dengan menggunakan kolom bahan isian yang dilakukan secara kontinyu sehingga absorben tidak cepat jenuh dan dapat dilakukan secara terus menerus. Selain itu, luas kontak gas dengan cairan pada kolom bahan isian juga lebih besar karena cairan dan gas berkontak melalui sela – sela bahan isian.

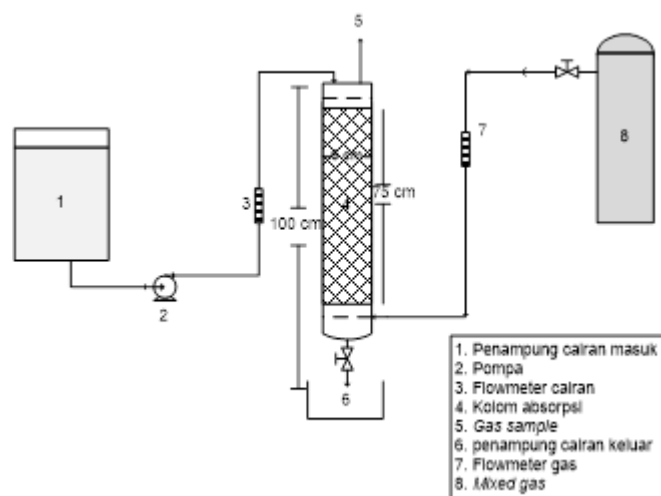
Tujuan penelitian ini adalah untuk menyusun model matematis dan penyelesaian numeris pada absorpsi CO₂ dalam biogas menggunakan kolom bahan isian dengan larutan MDEA sehingga diperoleh konstanta kecepatan reaksi dan koefisien transfer massa. Absorpsi CO₂ menggunakan larutan MDEA telah banyak dilakukan pada industri pupuk maupun pada pemurnian gas alam, tetapi absorpsi CO₂ di industri dilakukan pada tekanan tinggi. Sedangkan pada penelitian ini, pemurnian biogas tidak dilakukan pada tekanan tinggi sehingga lebih mudah diaplikasikan pada industri kecil atau menengah sehingga dibutuhkan nilai konstanta kecepatan reaksi dan koefisien tranfer massa saat operasi tidak pada tekanan tinggi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan antara lain adalah

- larutan MDEA 20 % dan 35,31% diperoleh dai PT. Pupuk Kujang
- 40 % CO₂ : N₂ *balance*
- Aquadest

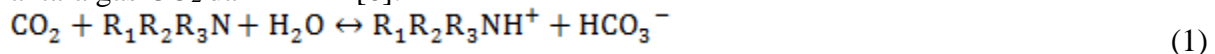


Gambar 2. rangkaian alat absorpsi gas

Penelitian dilakukan dengan sistem peralatan yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kolom yang digunakan berdiameter 6 cm dan tinggi 100 cm, diisi dengan bahan isian berbentuk spiral tembaga setinggi 75 cm. Gas dialirkan dari bawah dan dikontakan dengan aliran cairan yang dialirkan melalui bagian atas dengan laju alir 0,15 L/menit. Terjadi penyerapan CO₂ dan reaksi di dalam larutan. Cairan yang digunakan adalah larutan MDEA dengan konsentrasi 20% dan 35,31%. Gas dialirkan melalui atas dengan laju alir 1 L/menit, 1,5 L/menit dan 1,8 L/menit dengan pengambilan sampel setiap 1 menit selama 15 menit.

Model Matematika

Gas CO₂ yang digelembungkan ke dalam kolom absorpsi akan bereaksi dengan MDEA yaitu R₁R₂R₃, dimana R₁ = R₂ = CH₂CH₂OH dan R₃ = CH₃. Adapun reaksi kimia yang terjadi antara gas CO₂ dan MDEA[6]:

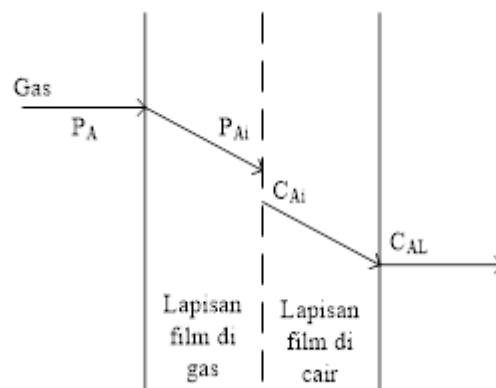


Karena ada 3 (tiga) kelompok alkil hadir dalam MDEA sehingga reaksi antara CO₂ dan MDEA terhalang. Oleh karena itu, CO₂ larut dalam H₂O yang membentuk asam karbonat dan kemudian asam karbonat bereaksi dengan *amine*[7]. Jadi, laju reaksi CO₂ dalam larutan MDEA dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$r_A = k_2[\text{CO}_2][\text{MDEA}] \quad (2)$$

$$r_A = k_2 \cdot C_{AL} \cdot C_{BL} \quad (3)$$

Dalam penentuan koefisien transfer massa keseluruhan perpindahan gas CO₂ ke dalam MDEA menggunakan konsep *two film theory*. Absorpsi CO₂ kedalam MDEA merupakan reaksi gas dan cair.



Gambar 3. *two film theory*

Proses absorpsi gas CO₂ kedalam larutan MDEA merupakan absorpsi kimia, yaitu absorpsi yang disertai dengan reaksi kimia. Mekanisme transfer yang ditunjukkan pada Gambar 3 adalah transfer massa antar fasa yang terjadi dari fase gas menuju fase cairan. Absorpsi ini melalui empat tahap yaitu perpindahan massa CO₂ melalui lapisan gas menuju lapisan antarfase gas – cairan, kesetimbangan antara CO₂ dalam fase gas dan dalam fase larutan, perpindahan massa CO₂ dari lapisan gas ke badan utama larutan MDEA dan reaksi antara CO₂ terlarut dengan gugus hidroksil (OH⁻).

Proses transfer massa pada sistem yang ditinjau dapat ditulis sebagai berikut:

Transfer massa CO₂ dari fasa gas ke *interface*,

$$N_A = k_G(P_{AG} - P_{Ai}) \quad (4)$$

Transfer massa CO₂ dari *interface* ke fasa cair,

$$N_A = k_L (C_{Ai} - C_{AL}) \quad (5)$$

Pada *interface* berlaku persamaan,

$$P_{Ai} = H \cdot C_{Ai} \quad (6)$$

Reaksi CO₂ dengan (MDEA) pada fasa cair,

$$r = k_2 \cdot C_{AL} \cdot C_{BL} \quad (7)$$

Dari persamaan (4) diperoleh,

$$P_{AG} = \frac{N_A}{k_G} + P_{Ai} \quad (8)$$

Substitusi P_{Ai} pada persamaan (6) ke persamaan (8),

$$P_{AG} = \frac{N_A}{k_G} + H \cdot C_{Ai} \quad (9)$$

Dari persamaan (5) diperoleh,

$$C_{Ai} = \frac{N_A}{k_L} + C_{AL} \quad (10)$$

Substitusi C_{Ai} dari persamaan (10) ke persamaan (9),

$$P_{AG} = \frac{N_A}{k_G} + H \cdot \left[\frac{N_A}{k_L} + C_{AL} \right] \quad (11)$$

Dari persamaan (7) diperoleh,

$$C_{AL} = \frac{r}{k_2 \cdot C_{BL}} \quad (12)$$

Substitusi persamaan (12) ke persamaan (11) sehingga diperoleh,

$$P_{AG} = \frac{N_A}{k_G} + H \cdot \left[\frac{N_A}{k_L} + \frac{r}{k_2 \cdot C_{BL}} \right] \quad (13)$$

Diasumsikan semua yang ditransfer bereaksi. Jadi, N_A = r sehingga persamaan (13) dapat disederhanakan menjadi,

$$P_{AG} = \frac{N_A}{k_G} + H \cdot \left[\frac{N_A}{k_L} + \frac{N_A}{k_2 \cdot C_{BL}} \right] \quad (14)$$

$$P_{AG} = N_A \left\{ \frac{1}{k_G} + H \cdot \left[\frac{1}{k_L} + \frac{1}{k_2 \cdot C_{BL}} \right] \right\} \quad (15)$$

$$N_A = \frac{P_{AG}}{\frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L} + \frac{H}{k_2 \cdot C_{BL}}} \quad (16)$$

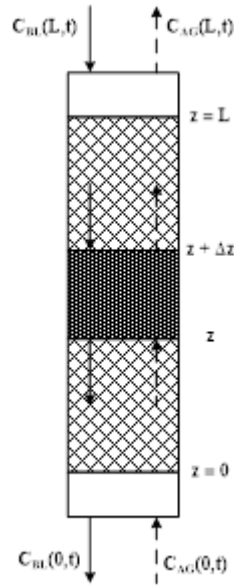
$$r_A = N_A = \frac{P_{AG} \cdot k_G \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{k_2 \cdot C_{BL} + H \cdot k_G} \quad (17)$$

$$\text{dimana, } \frac{1}{K_G} = \frac{1}{k_G} + \frac{H}{k_L}$$

$$P_A = C_{AG} \cdot R \cdot T \quad (18)$$

$$r_A = N_A = \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot k_G \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{k_2 \cdot C_{BL} + H \cdot k_G} \quad (19)$$

Percobaan dilakukan pada kolom absorpsi dengan reaksi antara CO₂, H₂O, dan MDEA terjadi didalam kolom absorpsi tersebut. Penyusunan model matematis diambil pada elemen volume di kolom absorpsi.



Gambar 4. skema kolom absorpsi

Dari Gambar 4 dapat dibuat neraca massa pada elemen volume

Parameter Proses Kecepatan

1. Neraca massa CO₂ di fase gas

$$\frac{\partial C_{AG}}{\partial t} = -\frac{G}{S \cdot \varepsilon_G} \cdot \frac{\partial C_{AG}}{\partial z} - \frac{N_A}{\varepsilon_G} \tag{20}$$

$$\frac{\partial C_{AG}}{\partial t} = -\frac{G}{S \cdot \varepsilon_G} \cdot \frac{\partial C_{AG}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_G (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{21}$$

2. Neraca massa CO₂ difase cair

$$\frac{\partial C_{AL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{AL}}{\partial z} + \frac{(r_A)}{\varepsilon_L} \tag{22}$$

$$\frac{\partial C_{AL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{AL}}{\partial z} + \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_L (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{23}$$

3. Neraca massa MDEA di fase cair

$$\frac{\partial C_{BL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{BL}}{\partial z} - \frac{(r_A)}{\varepsilon_L} \tag{24}$$

$$\frac{\partial C_{BL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{BL}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_L (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{25}$$

Persamaan – persamaan yang diperoleh dari penjabaran neraca massa untuk menentukan koefisien transfer massa CO₂ dan konstanta laju reaksi adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial C_{AG}}{\partial t} = -\frac{G}{S \cdot \varepsilon_G} \cdot \frac{\partial C_{AG}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_G (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{26}$$

$$\frac{\partial C_{AL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{AL}}{\partial z} + \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_L (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{27}$$

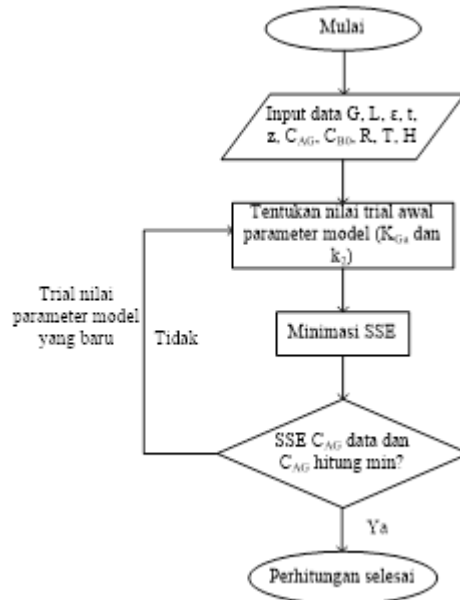
$$\frac{\partial C_{BL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \varepsilon_L} \cdot \frac{\partial C_{BL}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_{Ga} \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{\varepsilon_L (k_2 C_{BL} + H \cdot K_{Ga})} \tag{28}$$

Persamaan diferensial 26, 27 dan 28 diselesaikan menggunakan algoritma pemrograman seperti tertera pada Gambar 5 dengan menebak nilai awal untuk masing – masing tetapan dari model yang diusulkan, dimana tetapan yang akan dicari nilainya adalah k₂ dan K_{Ga}. Nilai

tetapan yang telah ditebak nilai awalnya dimasukkan ke dalam persamaan diferensial untuk diselesaikan. Nilai k_2 dan K_{Ga} yang dipilih jika nilai SSEnya minimum. Perhitungan nilai SSE dilakukan dengan membandingkan nilai yang didapat dari percobaan dengan nilai yang didapat dari penyelesaian persamaan diferensial. SSE akan diminimasi dengan merubah nilai k_2 dan K_{Ga} sehingga diperoleh nilai SSE minimum.

SSE dapat dihitung dengan persamaan:

$$SSE = \sum (C_{AG,data} - C_{AG,hitung})^2 \quad (29)$$



Gambar 5. algoritma pemrograman

HASIL DAN PEMBAHASAN

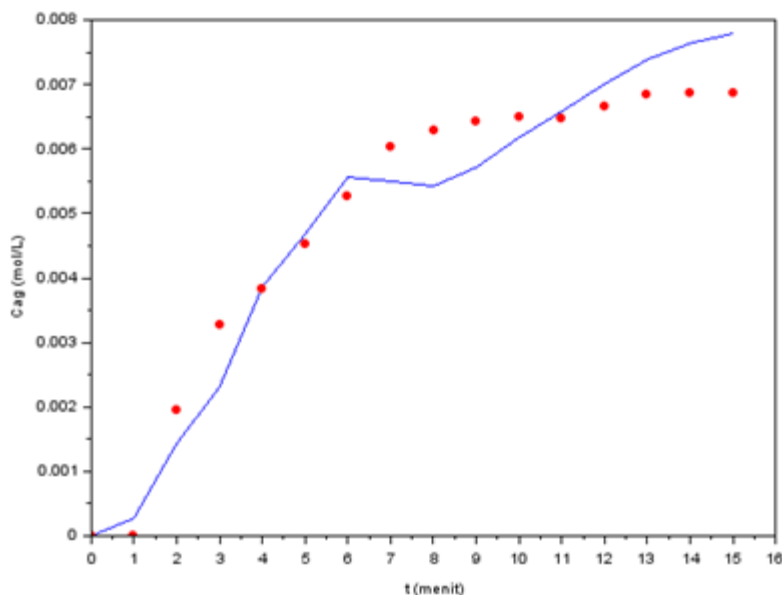
Dari data yang telah diperoleh dari penelitian dicari harga koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) dan konstanta kecepatan reaksi (k_2) dengan menggunakan pemodelan matematis yang telah disusun dan diselesaikan menggunakan program scilab.

Data penelitian yang tertera pada Tabel 2 digunakan untuk mencari nilai K_{Ga} dan k_2 adalah pada pada konsentrasi absorben 20% dan 35,31% dengan laju alir absorben 0,15 L/menit dan laju alir gas 1 L/menit, 1,5 L/menit dan 1,8 L/menit dalam waktu 15 menit.

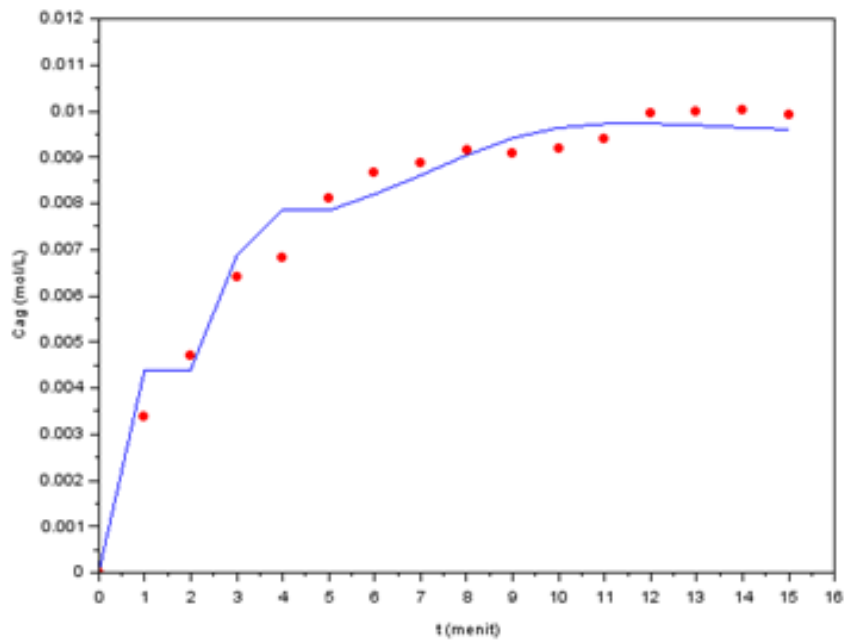
Tabel 2. Konsentrasi gas CO₂ keluar pada laju alir absorben 0,15 LPM dan konsentrasi CO₂ masuk 40%

Waktu (menit)	C _{AG} keluar (%)					
	Larutan MDEA 20% berat			Larutan MDEA 35,31 % berat		
	Q _G 1 L/min	Q _G 1,5 L/min	Q _G 1,8 L/min	Q _G 1 L/min	Q _G 1,5 L/min	Q _G 1,8 L/min
0	0	0	0	0	0	0
1	0	7,9607	14,8445	0	11,7138	15,9560
2	4,6086	11,1340	19,2904	7,1604	18,0175	18,1035
3	7,7136	15,1045	20,4702	10,2089	18,3499	18,4103
4	9,0471	16,0933	20,2894	13,4277	19,8676	19,6316
5	10,6921	19,1746	20,5819	15,2100	19,6956	21,3481
6	12,4568	20,4426	23,3859	15,9625	19,9404	21,3277
7	14,2476	20,9488	24,0539	16,2833	19,5184	21,4905
8	14,8329	21,5685	24,2691	16,3266	18,9883	22,4912
9	15,1742	21,4439	24,7875	17,1980	19,5241	22,6984
10	15,3552	21,7181	24,8084	17,4681	19,8502	22,6754
11	15,2903	22,1442	25,1170	17,8034	19,1327	22,5717
12	15,7008	23,5092	25,0276	17,2518	19,9480	22,5206
13	16,1455	23,5946	25,6585	17,6574	19,9638	23,6972
14	16,2110	23,6727	25,1927	17,0073	19,8656	22,0929
15	16,1992	23,4197	25,3732	17,4178	19,7710	22,8259

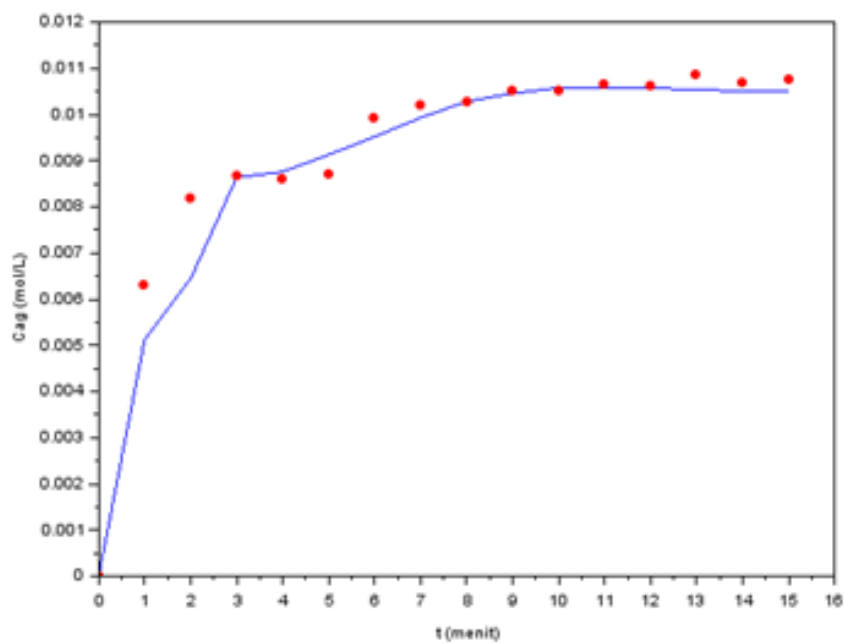
Nilai tetapan k_2 dan K_{Ga} yang telah ditebak nilai awalnya dimasukkan kedalam persamaan diferensial sehingga diperoleh hasil *fitting* data eksperimen dan simulasi tertera pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.



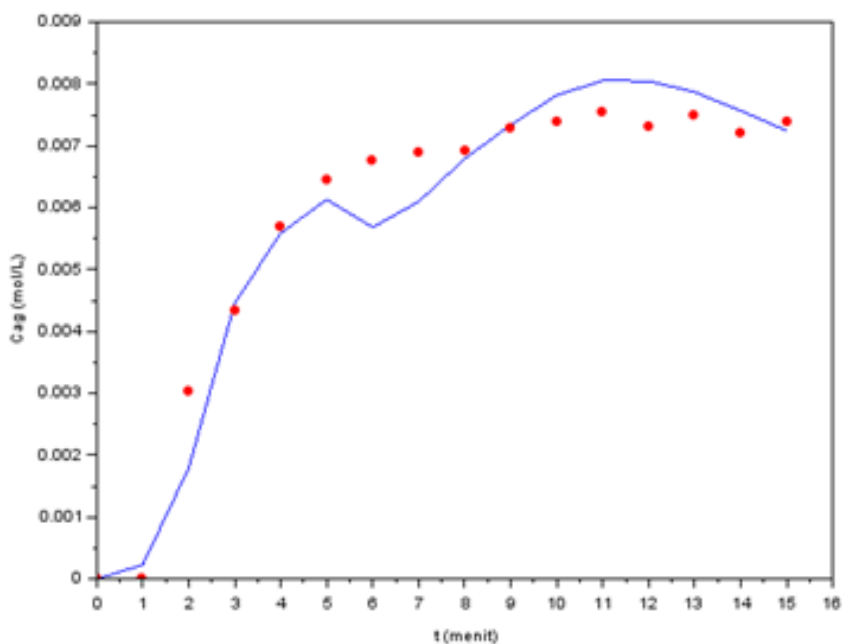
Gambar 6. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 20 % dan laju alir gas 1 L/min



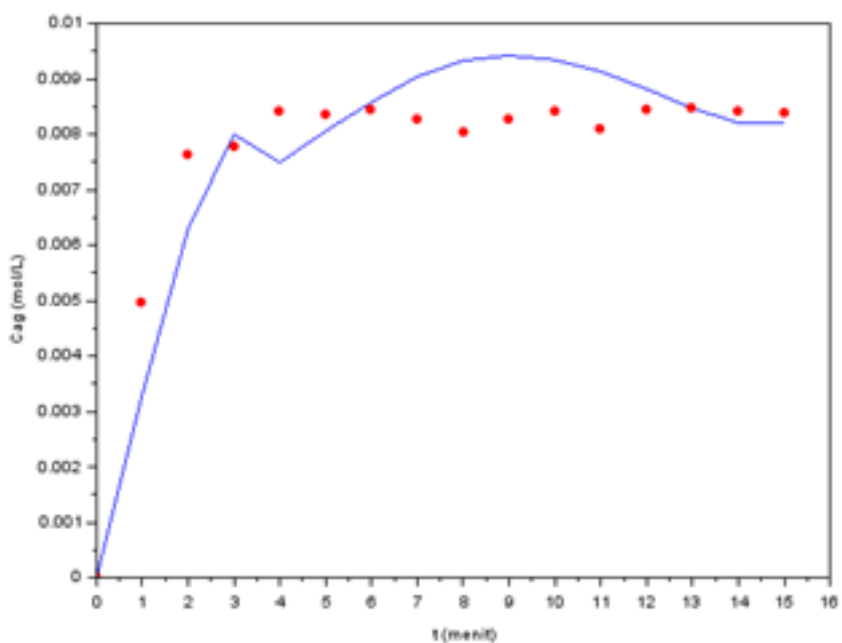
Gambar 7. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 20 % dan laju alir gas 1,5 L/min



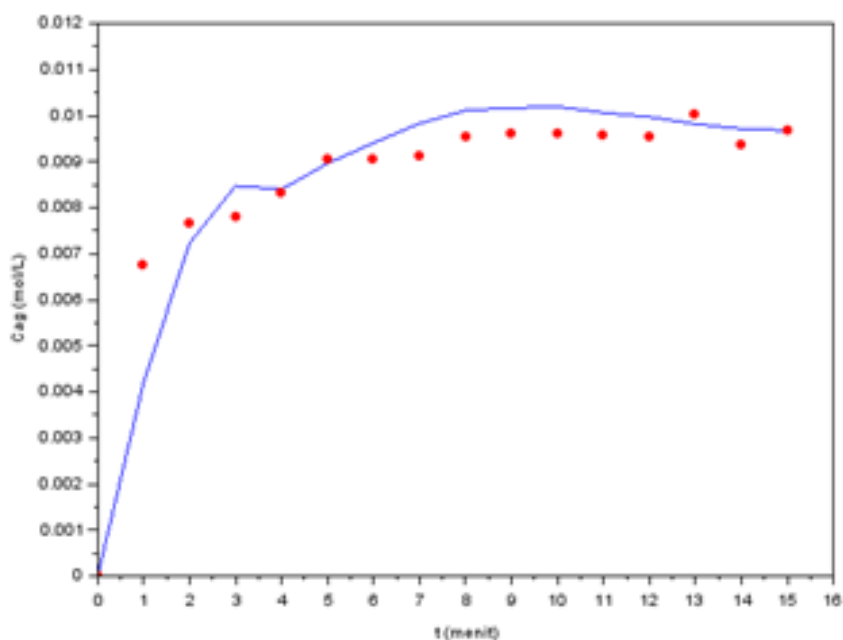
Gambar 8. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 20 % dan laju alir gas 1,8 L/min



Gambar 9. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 35,31 % dan laju alir gas 1 L/min



Gambar 10. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 35,31 % dan laju alir gas 1,5 L/min



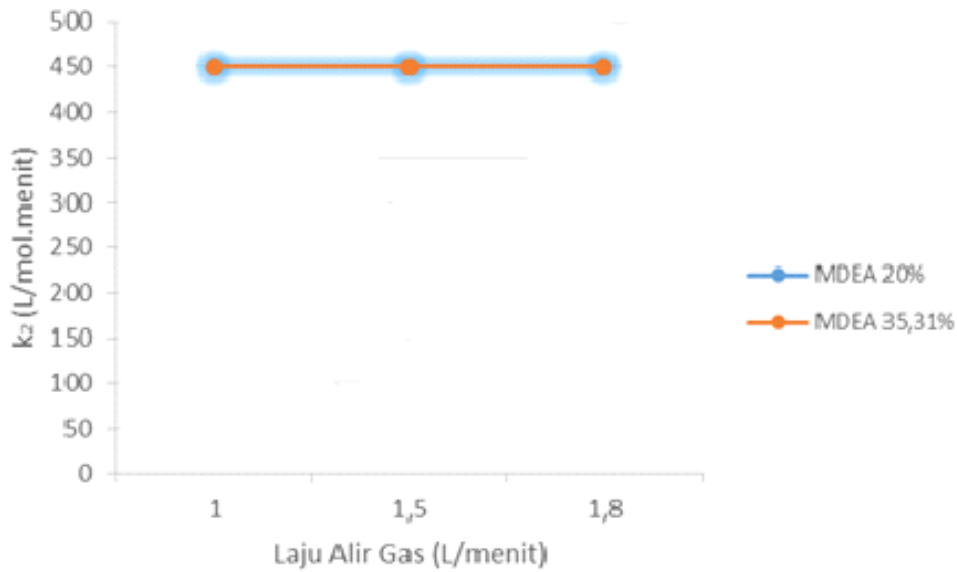
Gambar 11. Grafik eksperimen dan simulasi dengan MDEA 35,31 % dan laju alir gas 1,8 L/min

Dari data hasil percobaan yang dilakukan selama 15 menit pada laju alir gas yang telah ditentukan diperoleh konsentrasi gas CO₂ keluar yang kemudian dicari nilai k_2 dan K_{Ga} dengan menggunakan program Scilab seperti tertera pada Tabel 3.

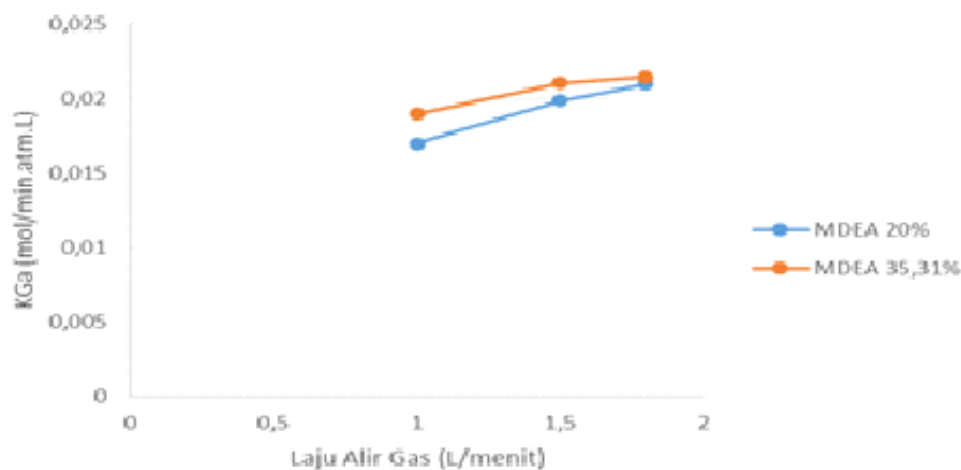
Tabel 3. konstanta kecepatan reaksi dan koefisien transfer massa gas dalam berbagai laju alir gas dan konsentrasi MDEA

20 % berat			35,31 % berat		
Q _G (L/menit)	k_2 (L/mol.min)	K_{Ga} (mol/min.atm.L)	Q _G (L/menit)	k_2 (L/(mol.min))	K_{Ga} (mol/min.atm.L)
1	450	0,0170	1	450	0,0190
1,5	450	0,0199	1,5	450	0,0211
1,8	450	0,0210	1,8	450	0,0215

Grafik hubungan antara laju alir gas dengan k_2 pada konsentrasi MDEA 20% dan 35,31% ditunjukkan pada gambar 12 sedangkan grafik hubungan laju alir gas dengan K_{Ga} ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 12. grafik hubungan laju alir gas dengan k_2 pada konsentrasi MDEA 20% dan 35,31%



Gambar 13. grafik hubungan laju alir gas dengan K_{Ga} pada konsentrasi MDEA 20% dan 35,31%

Pada Gambar 6 dengan konsentrasi MDEA yang berbedan dan laju alir gas yang berbeda, harga k_2 tetap sama yaitu 450 L/mol.menit. hal ini karena nilai k_2 pada absorpsi hanya dipengaruhi oleh perubahan suhu sedangkan pada penelitian ini tidak menggunakan suhu sebagai variabel.

Laju alir gas memiliki pengaruh pada kinerja penyerapan di kolom bahan isian[8]. Kenaikan laju alir akan menyebabkan nilai K_{Ga} menjadi lebih tinggi terutama ketika konsentrasi absorben lebih tinggi. Dengan meningkatnya laju alir gas maka menyebabkan turbulensi yang terjadi di dalam kolom bahan isian menjadi lebih besar sehingga kontak antara gas – cair akan menjadi lebih cepat sehingga laju transfer massa dari gas ke cairan menjadi lebih cepat dan koefisien transfer massa (K_{Ga}) menjadi lebih besar.

KESIMPULAN

Pada laju alir gas 1 L/menit, 1,5 L/menit dan 1,8 L/menit dengan konsentrasi MDEA 20% berat diperoleh koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) kisaran 0,0170 mol/min.atm.L hingga 0,0210 mol/min.atm.L dan konstanta kecepatan reaksi sebesar 450 L/mol.min sedangkan pada konsentrasi MDEA 35,35% berat diperoleh koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) kisaran 0,0190 mol/min.atm.L hingga 0,0215 mol/min.atm.L dan konstanta kecepatan reaksi sebesar 450 L/mol.min sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi absorben yang digunakan maka akan semakin besar koefisien transfer massa gas (K_{Ga}) sedangkan untuk konstanta kecepatan reaksi tetap karena reaksi yang terjadi pada proses absorpsi gas CO_2 dilakukan pada suhu yang sama.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Aswati Mindaryani, M.Sc. dan Muslikhin Hidayat, S.T., M.T., Ph.D yang telah membimbing selama melakukan penelitian ini serta PT. Pupuk Kujang Tbk. atas bantuan yang diberikan dalam memperlancar penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

C_{AG}	: Konsentrasi CO_2 di fase gas, mol/L
C_{Ai}	: Konsentrasi CO_2 di interface, mol/L
C_{AL}	: Konsentrasi CO_2 di fase cair, mol/L
C_{B0}	: Konsentrasi larutan MDEA, mol/L
C_{BL}	: Konsentrasi MDEA di fase cair, mol/L
ϵ_G	: Porositas gas, (volume/volume)
ϵ_L	: Porositas cairan, (volume/volume)
G	: Kecepatan volum gas, L/min
H	: Konstanta Henry, atm.L/mol
k_2	: Konstanta laju reaksi overall, L/(mol.min)
k_{Ga}	: Koefisien transfer massa volumetris CO_2 pada fase gas, mol/(min.atm.L)
k_{La}	: Koefisien transfer massa volumetris CO_2 pada fase cair, 1/min
K_{Ga}	: Koefisien transfer massa overall volumetris CO_2 di fase gas, mol/(min.atm.L)
L	: Kecepatan volum cairan, L/min
n	: Mol, gram/(gram/mol)
N_A	: Kecepatan transfer massa CO_2 volumetris, mol/(L.min)
P_A	: Tekanan parsial CO_2 di fase gas, atm
P_{Ai}	: Tekanan parsial CO_2 di interface, atm
R	: Konstanta gas ideal, L atm/(mol.K)
r_A	: Laju reaksi CO_2 di dalam larutan, mol/(L.min)
S	: Luas permukaan perpindahan massa, m^2
t	: Waktu, min
V	: Volume, L
z	: Tinggi kolom, m

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BP Statistical Review of World Energy, "BP Statistical Review of World Energy 2019," BP, UK, 2019.
- [2] N. Abatzoglou and S. Boivin, "A review of biogas purification processes," *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, vol. 3, no. 1, pp. 42-71, 2009.
- [3] G. A. Zeleke, "Upgrading Biogas Produced from Biogas Pilot Plant Through Absorption," Dept. Chem. Eng., Addis Ababa University, 2014.
- [4] S. Murai, Y. Kato, Y. Maezawa, T. Muramatsu and S. Saito, "Novel Hindered Amine Absorbent for CO₂ Capture," *Energy Procedia*, vol. 37, pp. 417-422, 2013.
- [5] A. Ibrahim, F. H. Ashour, A. Ghallab and M. Ali, "Effects of piperazine on carbon dioxide removal from natural gas using aqueous methyl diethanol amine," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 21, pp. 894-899, 2014.
- [6] N. J.-v. Elk, P. W. Derks, S. Fradette and G. F. Versteeg, "Kinetics of absorption of carbon dioxide in aqueous MDEA solutions with carbonic anhydrase at 298 K," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 9, pp. 385-392, 2012.
- [7] V. Mohanty, "Simulation of Methyl diethanolamine Carbon Dioxide – Water System Using Equilibrium Approach," Dept. Chem. Eng., National Institute of Technology Rourkela, 2014.
- [8] P. S. Nair and P. Selvi, "Absorption of Carbon Dioxide in Packed Column," *International Journal of Scientific and Research Publication*, vol. 4, no. 4, pp. 1-11, 2014.