

## ABSORPSI CO<sub>2</sub> PADA BIOGAS DENGAN LARUTAN METHYLDIETHANOLAMINE (MDEA) MENGGUNAKAN KOLOM BAHAN ISIAN

Sari Sekar Ningrum<sup>1)</sup>, Aswati Mindaryani<sup>2)</sup>, Muslikhin Hidayat<sup>3)</sup>

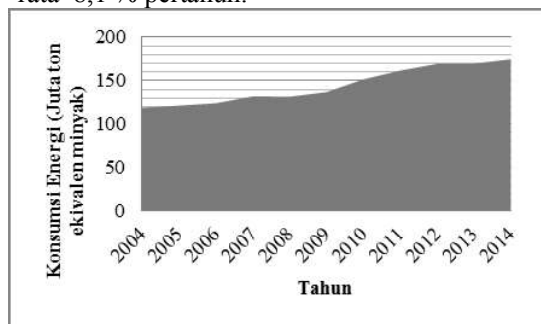
<sup>1),2),3)</sup>Departemen Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta  
Email : [sarisekarningrum@gmail.com](mailto:sarisekarningrum@gmail.com)

**Abstrak.** Biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan untuk menggantikan energi fosil. Keberadaan CO<sub>2</sub> pada biogas mengurangi efisiensi pembakaran dan korosi pada peralatan. Pemurnian biogas dilakukan menggunakan kolom bahan isian dan larutan MDEA sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar genset untuk IKM. Penelitian ini diharapkan dapat mempelajari pengaruh konsentrasi absorben dan laju alir gas terhadap penurunan kadar CO<sub>2</sub> dalam biogas serta memperoleh nilai  $K_{Ga}$  dan  $k_2$ . Percobaan absorpsi CO<sub>2</sub> dilakukan secara kontinyu didalam kolom absorpsi dengan diameter 6cm dan panjang 75cm. Gas diumpankan dari bagian bawah kolom sedangkan cairan dengan kecepatan alir 0,15 LPM dialirkan melalui bagian atas kolom dengan bantuan pompa. 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 CO<sub>2</sub> yang keluar dari bagian atas kolom dicatat sebagai fungsi waktu. Data yang diperoleh dimasukkan kedalam model matematis sehingga kemudian diperoleh nilai  $K_{Ga}$  dan  $k_2$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada laju alir cairan 0,15 LPM dan laju alir gas 1 LPM dapat menurunkan CO<sub>2</sub> dari konsentrasi 40 % menjadi 17 %. Pada laju alir cairan tetap, semakin tinggi laju alir gas maka nilai  $K_{Ga}$  yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin tinggi konsentrasi larutan MDEA maka diperoleh nilai  $k_2$  semakin besar.

**Kata kunci:** absorption, CO<sub>2</sub> removal, kolom bahan isian, kontinyu, MDEA, pemurnian biogas

### 1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan jaman, kebutuhan energi di Indonesia semakin meningkat. Salah satu penggunaan energi terbesar adalah untuk kebutuhan listrik. Data yang diperoleh dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), penjualan listrik selama 5 tahun terakhir mengalami pertumbuhan dengan tingkat pertumbuhan rata – rata 8,1 % pertahun.



Gambar 1. Konsumsi energi di Indonesia tahun 2004 – 2014<sup>[1]</sup>

Biogas merupakan salah satu energi baru terbarukan (EBT) yang mulai dikembangkan. Biogas merupakan campuran gas yang mudah terbakar yang dihasilkan dari *anaerobic digestion*, dimana metabolisme bakteri terhadap bahan organik tidak menggunakan oksigen<sup>[2]</sup>. Komposisi kandungan gas pada biogas bermacam – macam, tergantung dari bahan baku biogas. Kandungan komposisi yang terbanyak pada biogas adalah metana (CH<sub>4</sub>), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), dan nitrogen (N<sub>2</sub>)

Tabel 1. Komponen utama pada biogas<sup>[3]</sup>

Komponen	Sewage Digester	Organic Waste Digester	Landfill
CH <sub>4</sub>	55 – 65 %	60 -70 %	45 – 50 %
CO <sub>2</sub>	35 – 40 %	30 – 40 %	30 – 40 %
N <sub>2</sub>	< 1 %	< 1%	5 – 15 %

Biogas yang dihasilkan dari digester seringkali digunakan untuk memasak, padahal biogas dapat dimanfaatkan juga untuk penerangan atau untuk generator set (genset) pada industri kecil dan menengah (IKM). Biogas yang digunakan sebagai bahan bakar genset dibutuhkan pemurnian lebih lanjut untuk mengurangi jumlah gas - gas pengotor sehingga kadar metana yang terkandung dalam biogas meningkat.

Metana pada biogas merupakan sumber energi yang berharga sedangkan dengan adanya kandungan CO<sub>2</sub> dapat menghambat efisiensi energi biogas<sup>[4]</sup>. Selain itu dengan adanya kandungan CO<sub>2</sub> pada biogas dapat menyebabkan korosi pada peralatan. Peningkatan efisiensi biogas dilakukan dengan cara menghilangkan kandungan CO<sub>2</sub> untuk diperoleh CH<sub>4</sub> yang kadarnya lebih tinggi sehingga energi yang dihasilkan dari biogas tersebut lebih tinggi.

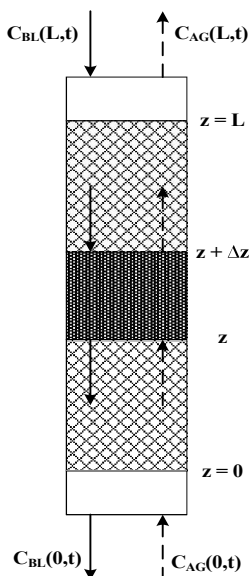
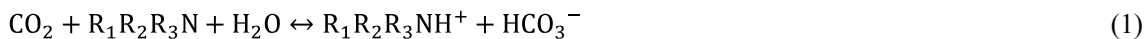
Untuk meningkatkan efisiensi biogas ini dapat dilakukan pemurnian dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan metode absorpsi secara kimia. Keuntungan absorpsi kimia adalah dengan adanya reaksi kimia maka koefisien perpindahan massa menjadi lebih besar dibandingkan dengan absorpsi tanpa reaksi kimia<sup>[5]</sup>.

Penyerapan kimia dengan menggunakan *aqueous alkanolamine solutions* adalah teknologi yang paling dapat digunakan untuk menangkap gas CO<sub>2</sub><sup>[6]</sup>. Sifat basa yang dimiliki oleh amine dapat menyebabkan reaktifitas untuk menghilangkan gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S. Pada penelitian ini digunakan senyawa amina methyldiethanolamine (MDEA) karena MDEA tidak menyebabkan korosi pada peralatan dan mudah diregenerasi.

Pada absorpsi gas dengan menggunakan cairan, jenis kolom absorpsi yang lebih banyak digunakan adalah *packed column*. Hal ini karena luas kontak gas dengan cairan pada *packed column* lebih besar. Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh variasi konsentrasi laju alir gas dan konsentrasi larutan MDEA terhadap penyerapan gas CO<sub>2</sub> pada biogas.

Absorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan larutan MDEA telah banyak dilakukan pada industri pupuk maupun pada pemurnian gas alam, tetapi absorpsi CO<sub>2</sub> 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.

Reaksi kimia yang terjadi antara gas CO<sub>2</sub> dan MDEA<sup>[7]</sup>:



Model matematis yang digunakan dalam absorpsi CO<sub>2</sub> secara kimia pada kolom bahan isian:

Neraca massa CO<sub>2</sub> pada fase gas:

$$\frac{\partial C_{AG}}{\partial t} = -\frac{G}{S \cdot \epsilon} \cdot \frac{\partial C_{AG}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_G \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{k_2 C_{BL} + H \cdot K_G}$$

(2)

Neraca massa CO<sub>2</sub> pada fase cair:

$$\frac{\partial C_{AL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \epsilon} \cdot \frac{\partial C_{AL}}{\partial z} + \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_G \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{k_2 C_{BL} + H \cdot K_G}$$

(3)

Neraca massa MDEA pada fase cair:

$$\frac{\partial C_{BL}}{\partial t} = \frac{L}{S \cdot \epsilon} \cdot \frac{\partial C_{BL}}{\partial z} - \frac{C_{AG} \cdot R \cdot T \cdot K_G \cdot k_2 \cdot C_{BL}}{k_2 C_{BL} + H \cdot K_G}$$

(4)

IC:  $t=0; z=z; C_{AG}=0; C_{AL}=0; C_{BL}=0$

BC:  $t=t; z=0; C_{AG}=C_{AG}(0,t); C_{AL}=C_{AL}(0,t); C_{BL}=C_{BL}(0,t)$

$t=t; z=L; C_{AG}=C_{AG}(0,t); C_{AL}=C_{AL}(0,t); C_{BL}=C_{BL}(0,t)$

Persamaan (2), persamaan (3), dan persamaan (4) dengan IC dan BC diselesaikan dengan pemrograman. Untuk nilai  $k_2$  dan  $K_{Ga}$  tertentu penyelesaian persamaan diferensial tersebut berupa  $C_{AGhitung}$  vs  $t$ . Nilai  $k_2$

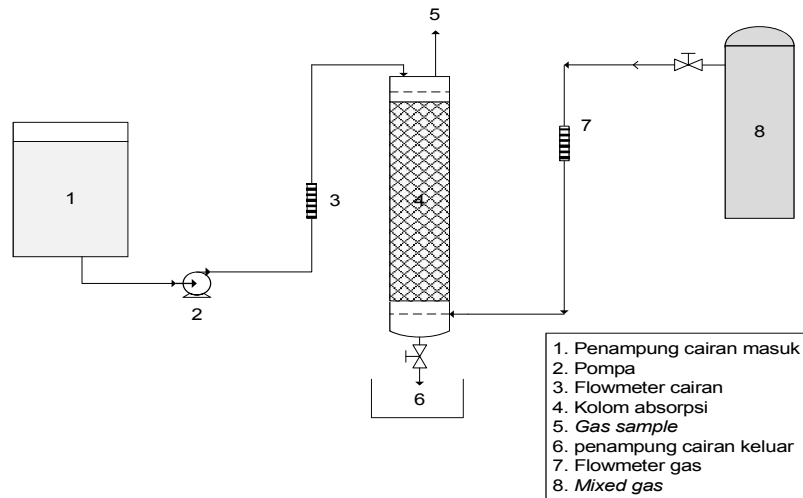
dan  $K_{Ga}$  yang dipilih adalah yang nilai  $SSE$ nya minimum.

Gambar 2. Skema kolom absorpsi  $CO_2$  dengan larutan MDEA pada kolom bahan isian

Pada penelitian ini MDEA yang digunakan diperoleh dari PT. Pupuk Kujang Cikampek sedangkan gas campuran  $CO_2$  dan  $N_2$  diperoleh dari PT. Sentra Utama Gas (Samator).

Alat utama penelitian ini adalah kolom absorpsi yang terbuat dari kaca dengan diameter 6 cm yang diisi dengan bahan isian spiral tembaga setinggi 75 cm. Selain itu peralatan lain yang juga digunakan adalah bak penampung cairan, selang, flowmeter cairan, flowmeter gas, pompa cairan, tabung gas, dan *vacuumtube*.

Tahap awal penelitian adalah mengatur kecepatan alir gas dan kecepatan alir cairan hingga diperoleh kecepatan yang konstan. Cairan dialirkan melalui bagian atas kolom absorpsi dan gas dialirkan melalui bagian bawah kolom absorpsi. Didalam kolom absorpsi terjadi kontak antara cairan dan gas sehingga terjadi penyerapan didalam cairan. Sampel gas keluar dimasukkan kedalam *vacuumtube* yang kemudian dilakukan analisis. Analisis sampel dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography* (GC), yaitu dengan membandingkan luas area gas  $CO_2$  yang dianalisis terhadap luas standar gas  $CO_2$  yang telah dibuat kurva standarnya.



Gambar 3. Rangkaian alat absorpsi gas  $CO_2$

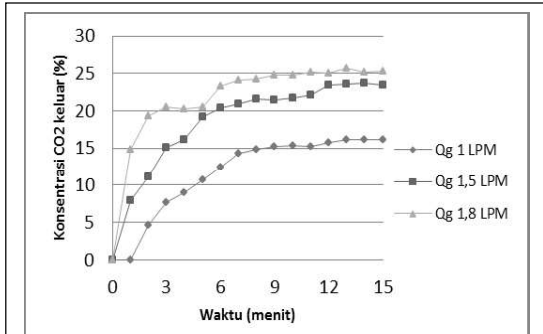
## 2. Pembahasan

Pengaruh variasi laju alir gas ( $Q_G$ ) terhadap penurunan konsentrasi gas  $CO_2$  pada laju alir cairan tetap akan dilakukan dengan pengambilan sampel setiap menit dalam 15 menit yang kemudian diuji dengan menggunakan GC. Gambar 4, gambar 5, gambar 6, dan gambar 7 menunjukkan persentase gas  $CO_2$  keluar setelah berkontak dengan cairan pada aliran yang berlawanan.

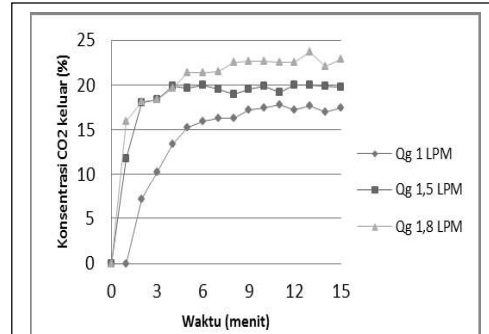
Dari gambar 4, gambar 5, gambar 6, dan gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan alir gas maka semakin sedikit gas  $CO_2$  yang diserap dalam kolom absorpsi. Hal ini disebabkan karena semakin besar kecepatan alir gas maka semakin pendek waktu kontak gas dengan cairan sehingga transfer gas ke cairan semakin kecil. Untuk laju alir gas 1 L/menit, 1,5 L/menit, dan 1,8 L/menit memiliki kecenderungan yang sama yaitu untuk laju alir gas yang paling kecil mengalami penyerapan  $CO_2$  paling banyak.

Syarat kandungan metana agar dapat digunakan sebagai bahan bakar genset adalah minimal 65 %<sup>[8]</sup>. Dapat dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan pada biogas dengan kandungan gas  $CO_2$  40 % semua variabel sudah memenuhi syarat sebagai bahan bakar genset. Untuk biogas dengan kandungan  $CO_2$  70% hanya pada variabel laju alir gas 1 L/menit dan konsentrasi 35,31% yang dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar genset. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan  $CO_2$  pada biogas yaitu 70 % sehingga menyebabkan larutan absorben menjadi lebih cepat jenuh dibandingkan dengan kandungan  $CO_2$  40%.

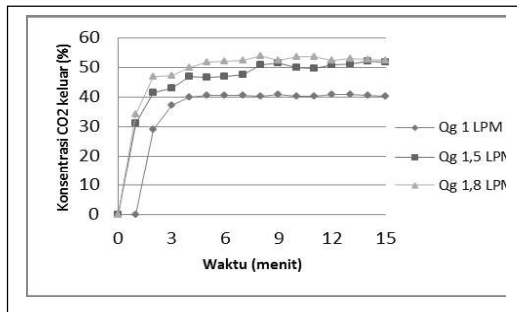
Pada gambar 4, gambar 5, gambar 6, dan gambar 7 dapat diambil kesimpulan bahwa dari variasi laju alir gas yang dilakukan, variasi laju alir gas 1 L/menit adalah yang paling baik digunakan.



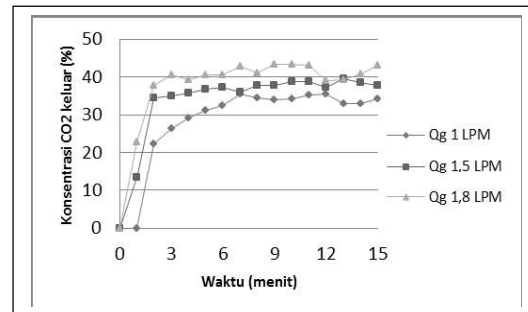
Gambar 4. Konsentrasi CO<sub>2</sub> keluar pada larutan MDEA 20 % dan konsentrasi CO<sub>2</sub> masuk 40 %



Gambar 5. Konsentrasi CO<sub>2</sub> keluar pada larutan MDEA 35,31 % dan konsentrasi



Gambar 6. Konsentrasi CO<sub>2</sub> keluar pada larutan MDEA 20 % dan konsentrasi CO<sub>2</sub>



Gambar 7. Konsentrasi CO<sub>2</sub> keluar pada larutan MDEA 35,31 % dan konsentrasi

Konstanta Henry diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Al-Ghawwas dkk (1989)<sup>[9]</sup>. Persamaan diferensial 2, 3, dan 4 diselesaikan dengan menebak nilai awal untuk masing – masing tetapan dari model yang diusulkan, dimana tetapan yang akan dicari nilainya adalah  $k_2$  dan  $K_{Ga}$ . Nilai tetapan yang telah ditebak nilai awalnya dimasukkan kedalam 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. Hasil optimasi dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

SSE dapat dihitung dengan persamaan:

$$SSE = \sum (C_{AG,data} - C_{AG,hitung})^2 \quad (5)$$

Tabel 2. Parameter hasil optimasi untuk variasi laju alir gas pada konsentrasi CO<sub>2</sub> 40%

20 % berat			35,31 % berat		
Q <sub>G</sub> (L/menit)	k <sub>2</sub> (L/mol.min)	K <sub>Ga</sub> (mol/min.atm.L)	Q <sub>G</sub> (L/menit)	k <sub>2</sub> L/(mol.min)	K <sub>Ga</sub> (mol/min.atm. L)
1	203,44	0,201	1	610,1	0,202
1,5	182,67	0,215	1,5	491,28	0,236
1,8	174,8	0,218	1,8	318,76	0,239

Tabel 4.4 Parameter hasil optimasi untuk variasi laju alir gas pada konsentrasi CO<sub>2</sub> 70%

20 % berat			35,31 % berat		
Q <sub>G</sub> (L/menit)	k <sub>2</sub> (L/mol.min)	K <sub>Ga</sub> (mol/min.atm.L)	Q <sub>G</sub> (L/menit)	k <sub>2</sub> L/(mol.min)	K <sub>Ga</sub> (mol/min.atm.L)
1	505,72	0,119	1	510,5	0,175
1,5	302,5	0,125	1,5	316,95	0,215
1,8	250,74	0,1257	1,8	305,37	0,216

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.

Nilai konstanta laju reaksi yang ditampilkan pada tabel 2 dan tabel 3 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi larutan MDEA pada laju alir cairan tetap dan laju aliran gas yang sama maka nilai konstanta laju reaksi akan semakin besar dan sebaliknya untuk konsentrasi larutan MDEA yang lebih kecil maka nilai konstanta laju reaksi menjadi semakin kecil.

### 3. Simpulan

Pengaruh laju alir gas terhadap absorpsi  $CO_2$  adalah semakin tinggi laju alir gas maka %*removal* yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan pendeknya waktu kontak antara gas dan cairan di kolom absorpsi. Pada laju alir MDEA tetap dan konsentrasi larutan MDEA yang sama, semakin tinggi laju alir gas maka  $CO_2$  yang terserap akan semakin kecil. Pada laju alir larutan MDEA tetap, semakin tinggi laju alir gas maka nilai koefisien transfer massa ( $K_{Ga}$ ) akan menjadi semakin besar. Berdasarkan nilai  $k_2$  proses yang paling baik untuk konsentrasi  $CO_2$  masuk 40% dan 70% adalah pada laju alir 1 LPM dan konsentrasi larutan MDEA 35,31%.

### Daftar Pustaka

- [1]. BP Statistical Review of World Energy, 2015, “*BP Statistical Review of World Energy June 2015*”, Bp p.l.c.
- [2]. Lastella, G., C. Testa, G. Cornacchia, M. Notornicole, F. Voltasio, dan V. K. Sharma, 2002, “*Anaerobic Digestion of Semi-Solid Organic Waste : Biogas Production and Its Purification*”, Energy Conversion and Management, Hal. 63-75.
- [3]. Zeleke, Gizachew Assefa, 2014, “*Upgrading Biogas Producted from Biogas Pilot Plant through Absorption*”, Addis Ababa University.
- [4]. Abatzoglou, Nicolas dan Steve Boivi, 2008, “*A Review of Biogas Purification Processes*”, Willey InterScience.
- [5]. Kumoro, Andri Cahyo dan Hadiyanto, 2000, “*Absorpsi Gas Karbondioksida dengan Larutan Soda Api dalam Kolom Unggun Tetap*”, Forum Teknik Jilid 2.
- [6]. Rochelle, Gary T., 2009, “*Amine Scrubbing for  $CO_2$  Capture*”, Science, Vol. 325, Hal. 1652 – 1654.
- [7]. Elk, Nathalie J.M.C. Penders-van, Peter W.J. Derks, Sylvie Fradette, dan Geert F. Versteeg, 2011, “*Kinetics of Absorption of Carbon Dioxide in Aqueous MDEA solutions with Carbonic Anhydrase at 298 K*”, International Journal of Greenhouse Gas Control 9, Hal. 385 – 392.
- [8]. Maryana, Rono, Satrio K. W., dan M. Kismurtono, 2008, “*Proses Pemurnian Metana dari Biogas Menggunakan Larutan NaOH dan KOH*”, Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ISSN 1410-5667.
- [9]. Al-Ghawas, Hani A., Daniel P. Hagewiesche, Gabriel Rulz – Ibanez, dan Oevllle C. Sandall, 1989, “*Physicochemical Properties Important for Carbon Dioxide Absorption in Aqueous Methylidethanolamine*”, Journal of Chemical Engineering, Vol. 34, Hal. 385 – 391.