Konversi 12(1) (2023) 9–11

KONVERSI
Homepage:
https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/konversi

The effect of pressure on the concentration of methane and carbon dioxide absorption in biogas

Hairul Huda[1,*], Revy Aditya[1], Rivaldo Bodewyn Julian Worotikan[1], Nurdin Nurdin[2]

[1]*Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University, Samarinda 75119, Indonesia*
[2]*Department of Mining Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University, Samarinda 75119, Indonesia*

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 03 November 2022
Received in revised form: 15 February 2023
Accepted: 01 March 2023

Keywords:
Biogas, methane, carbon dioxide, absorption, pressure

ABSTRACT

Biogas is playing a vital role in the emerging market for renewable energy. Biogas is an alternative energy that can be used as a substitute for fossil energy. The main composition of biogas is methane gas (CH_4) and carbon dioxide gas (CO_2) with a small amount of hydrogen sulfide (H_2S). Therefore, it is necessary to do treatment to enrich gas methane and reduce CO_2 and H_2S content in optimizing the use of biogas. Absorption is a CO_2 capture technology often used in the chemical industry. A chemical absorption technique using a solvent solution is one of the most widely used techniques to capture CO_2. This research uses MDEA (N-methyldiethanolamine) solvent as an alkanolamine solution dissolved in water. The unit operation usually used to carry out the absorption process is an absorber, and the type of absorber used is a spray column absorber. Simulating variations in pressure on the absorber was conducted in this research. The result of this research is that the increase in pressure will increase the composition percent of CH_4 in sweet gas and increase the amount of CO_2 absorption in biogas. The best result of absorber pressure is obtained at a pressure of 48 bar. The purity of CH_4 and % removal of CO_2 in biogas can be solved simply by using the evaluation parameters of the various absorber pressures presented, which we expect to contribute to the biogas industry in the future.

1. Pendahuluan

Biogas merupakan energi biomassa terbarukan yang penting, karena dapat menggantikan energi biomassa tradisional, seperti sedotan, kayu bakar, dan komersial sumber energi, termasuk batubara. Biogas bisa juga dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, dan biogas yang dimurnikan dapat digunakan dalam mobil untuk menggantikan bensin dan bahan bakar fosil lainnya [1].

Komposisi utama dari biogas CH_4 dan gas CO_2 dengan sedikit hidrogen sulfida (H_2S) sedangkan kandungan lainnya yang ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil (*trace element*) yaitu senyawa sulfur organik, gas hidrogen (H_2), senyawa hidrokarbon terhalogenasi, gas nitrogen (N_2), gas karbon monoksida (CO) dan gas oksigen (O_2). Kandungan CO_2 yang tinggi pada biogas secara signifikan akan mengurangi nilai kalor biogas dan akan menurunkan jumlah gas sintesis yang terbentuk pada proses *reforming*. Oleh karena itu, perlu dilakukan *treatment* untuk menurunkan kandungan CO_2 dalam pengoptimalan penggunaan biogas. *Carbon capture and storage* (CCS) adalah salah satu jalur emisi CO_2 antropogenik mitigasi. Di antara portofolio luas teknologi CCS, penyerapan fisik dan kimia dianggap sebagai pendekatan yang paling dekat dengan pasar untuk diterapkan pada skala industri, terutama difokuskan pada implementasinya dalam produksi energi dari bahan bakar fosil. Fisik penyerapan di dasarkan pada kelarutan CO_2 ke dalam larutan tanpa reaksi kimia yang didasarkan pada hukum Henry dan karenanya tekanan parsial CO_2 tinggi dan suhu rendah sangat direkomendasikan untuk penerapannya. Penyerapan kimia didasarkan pada reaksi antara CO_2 dan senyawa tertentu pelarut yang membentuk ikatan lemah antara CO_2 dan pelarut [2]. Penghapusan CO_2 dari gas dapat dibagi menjadi dua metode yang berbeda. Metode pertama adalah penghilangan dengan alkanolamina dimana CO_2 dihilangkan melalui reaksi absorpsi. Bergantung pada persyaratan proses, beberapa opsi untuk pelarut perlakuan berbasis alkanolamina dengan berbagai komposisi larutan telah diusulkan. Pilihan ini dapat diklasifikasikan ke dalam empat kelompok: 1) amina-air, 2) amina-air-pelarut organik, 3) amina mempromosikan proses karbonat, dan 4) campuran amina- air/pelarut organik. Metode kedua adalah penghilangan CO_2 dengan garam alkali, misalnya natrium atau kalium karbonat. Proses utama didasarkan pada larutan berair dari senyawa natrium dan kalium [3].

Spray absorber terdiri dari sebuah ruang penyerapan adiabatik dengan *port* masukan untuk uap *refrigerant* dan *weak solution*, dan *port* keluaran untuk *strong solution* yang terbentuk setelah penyerapan [4]. Gas buang masuk ke bagian bawah kolom *absorber* sementara larutan *solvent* dipompa ke atas. *Solvent* merupakan larutan basa yang cocok untuk penyerapan CO_2. Terjadi interaksi di dalam *packed bed*, dimana CO_2 diserap dari fase gas ke fase cair. CO_2 yang diserap keluar dari bagian bawah kolom baik itu bereaksi ataupun kompleks dengan penyerap [5].

MDEA adalah amina tersier dan memiliki laju reaksi rendah terhadap CO_2. Reaksi CO_2 hanya terjadi setelah CO_2 larut dalam air membentuk ion bikarbonat. Reaksi asam-basa kemudian terjadi antara bikarbonat dengan amina untuk menghasilkan reaksi CO_2 secara keseluruhan [6]. Penyerapan CO_2 dalam larutan *N-methyldiethanolamine* (MDEA) dan natrium karbonat berair dengan dan tanpa karbonat anhidrat (CA) dipelajari dalam kontaktor sel berpengaduk pada kisaran

* Corresponding author.
Email: hairulhuda@ft.unmul.ac.id
https://doi.org/10.20527/k.v12i1.14680

This open access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY-SA) 4.0 license

suhu 298–333 K. Berdasarkan pada hasil dengan MDEA dan natrium karbonat, kinetika yang diamati sebagai fungsi dari konsentrasi enzim bebas telah dijelaskan [7]. Beberapa metode untuk peningkatan biogas atau pengayaan gas CH_4 diantaranya proses adsorpsi secara fisika dan kimia, membran, *pressure swing adsorpsi* (PSA), *water scrubbing*, dan *cryogenic separation* [8]. Meningkatkan produksi gas CH_4 juga akan mengurangi kebutuhan energi dan bahan kimia [9]. Memurnikan gas CH_4 dengan dengan proses PSA yang masih menimbulkan *losses* gas CH_4 [10], efek tekanan tinggi pada CH_4 untuk normal temperatur [11], dan pengaruh tekanan adsorpsi terhadap laju difusi [12] telah dipelajari. Studi mengenai menghilangkan gas asam dari CH_4 dan disimulasikan menggunakan unit operasi Aspen Plus [13]. Memisahkan CO_2 dalam biogas telah juga dilakukan dengan *vacuum swing abortions* (VSA) [14]. Penelitian tersebut semua dilakukan dengan sangat tidak sederhana dan belum ada yang memvariasikan tekanan absorber secara sederhana dengan menggunakan *solvent* MDEA. Keunggulan penelitian ini yaitu memberikan kemudahan pengerjaan dengan memvariasikan tekanan pada *spray column absorber* dengan menggunakan *solvent* MDEA.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persen konsentrasi CH_4 dan penyerapan CO_2 dalam *%removal* pada biogas dengan memvariasikan tekanan *absorber* dengan menggunakan *solvent* MDEA.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan terdiri dari beberapa tahapan dengan memasukkan kondisi awal operasi hingga kesimpulan. Biogas sebagai gas umpan yang akan dimurnikan ke dalam *absorber* mempunyai komponen serta konsentrasi yang ditunjukkan pada tabel 1 yaitu sebagai *feed gas* ke dalam *spray column absorber*. Tahapan selanjutnya yaitu menggunakan data pada tabel 2 sebagai kondisi operasi yang disimulasikan dengan menggunakan ASPEN Hysys V 8.8. Kondisi operasi *solvent* yang digunakan yaitu MDEA yang ditunjukkan Tabel 2 serta disimulasikan sebagai tahapan selanjutnya. Kemudian, melakukan variasi tekanan pada absorber dengan variasi 5 tekanan berbeda yaitu 32 bar, 36 bar, 40 bar, 44 bar, dan 48 bar. Simulasi variasi tekanan absorber akan diperoleh konsentrasi CH_4 dari ASPEN Hysys dan *%removal* CO_2 yang diperoleh melalui perhitungan sederhana. *%Removal* CO_2 diperoleh dari hubungan konsentrasi CO_2 dalam tabel 1 sebagai *feed gas* dengan konsentrasi CO_2 didalam *sweet gas*. Tahapan akhir penelitian yaitu analisa dan kesimpulan terhadap variasi tekanan yang berpengaruh pada konsentrasi persen kemurnian gas CH_4 dan penyerapan CO_2 yang ditunjukkan oleh *%removal* CO_2.

Tabel 1. Komposisi Biogas (Bharathiraja et al., 2018)

Komponen	Konsentrasi
CH_4	75%
CO_2	20%
H_2O	2,73%
H_2S	0,004 (40 ppm)
N_2	2,23%

Tabel 2. Kondisi Operasi Biogas dan MDEA

Parameter	Biogas	MDEA	*Absorber*
Temperatur (℃)	40℃	25℃	-
Tekanan (bar)	50 bar	50 bar	40 bar
Laju Alir	38,78 m^3/jam	100 kg/jam	-

3. Hasil dan Pembahasan

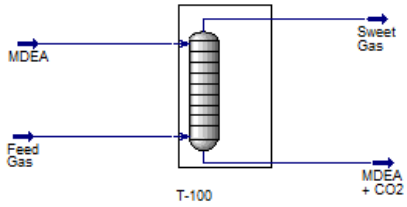
Hasil dari penelitian berupa pengaruh tekanan *absorber* terhadap konsentrasi persen kemurnian gas CH_4 dan *%removal* CO_2.

3.1. Pengaruh tekanan absorber

Hasil analisis pengaruh tekanan *absorber* terhadap konsentrasi kemurnian persen komposisi CH_4 dalam *sweet gas* yang ditunjukkan pada gambar 1 dan hasil analisis tekanan *absorber* terhadap $\%CO_2$ *removal* ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 1 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan ASPEN Hysys V 8.8 pada tekanan 40 bar dan menampilkan hasil komposisi yang diperoleh pada konsentrasi komponen biogas. Gambar 1 ditampilkan karena adalah kondisi operasi awal yang digunakan pada *spray column absorber* dan *solvent* MDEA yang digunakan serta juga menunjukkan hasil dalam *sweet gas* dan beberapa komponen lain. Hasil menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi CH_4 dan penurunan konsentrasi CO_2 dalam *sweet gas*.

Gambar 2 menunjukkan kenaikan tekanan absorber terhadap persen konsentrasi gas CH_4. Hasil yang didapat

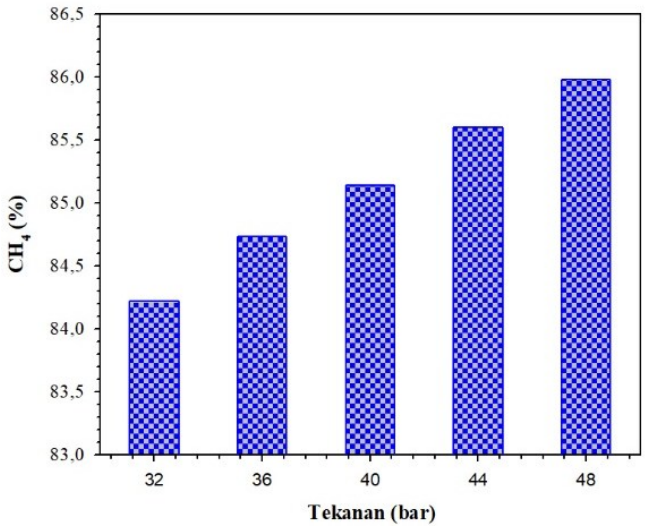


Material Streams					
		Feed Gas	Sweet Gas	MDEA + CO2	MDEA
Vapour Fraction		0.9710	1.0000	0.0000	0.0000
Temperature	C	24.00	30.35	51.96	25.00
Pressure	bar	50.00	40.00	40.00	50.00
Molar Flow	m3/h_(gas)	38.78	33.37	54.30	48.89
Mass Flow	kg/h	36.04	27.12	108.9	100.0
Liquid Volume Flow	m3/h	8.667e-002	7.553e-002	0.1086	9.747e-002
Heat Flow	kJ/h	-2.330e+005	-1.490e+005	-7.854e+005	-7.014e+005

Compositions				
	Feed Gas	Sweet Gas	MDEA + CO2	MDEA
Comp Mole Frac (Methane)	0.7500	0.8696	0.0012	0.0000
Comp Mole Frac (CO2)	0.2000	0.1015	0.0804	0.0000
Comp Mole Frac (H2O)	0.0200	0.0010	0.6439	0.7000
Comp Mole Frac (MDEAmine)	0.0000	0.0000	0.2701	0.3000
Comp Mole Frac (H2S)	0.0005	0.0000	0.0004	0.0000
Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0240	0.0279	0.0000	0.0000
Comp Mole Frac (Ammonia)	0.0055	0.0000	0.0039	0.0000

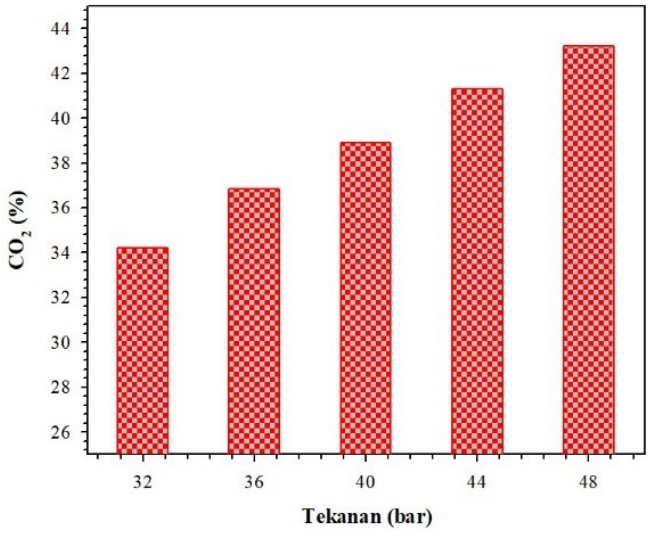
Gambar 1. Simulasi ASPEN Hysys

menunjukkan semakin naik tekanan maka akan diperoleh peningkatan konsentrasi kemurnian persen gas CH_4 yang tinggi [3]. Persen gas CH_4 paling tinggi diperoleh pada tekanan 48 bar dengan kemurnian 85,9%.



Gambar 2. Komposisi CH_4 dalam s*weet gas*

Gambar 3 menunjukkan kenaikan tekanan yang berpengaruh terhadap *%removal* CO_2, hal ini disebabkan kenaikan tekanan absorber dan juga dipengaruhi oleh *solvent* MDEA. *%removal* CO_2 tertinggi pada 48 bar. Semakin tingginya tekanan mengakibatkan kelarutan CO_2 dalam larutan MDEA juga semakin besar sehingga kenaikan tekanan akan meningkatkan jumlah penyerapan CO_2 [12]. Pada tekanan 48 bar, *%removal* CO_2 paling tinggi hingga 44%.



Gambar 3. %CO_2 *removal*

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kenaikan tekanan akan meningkatkan komposisi CH_4 dalam *sweet gas* dan meningkatkan jumlah penyerapan CO_2 yang ditunjukkan dalam *%removal* CO_2. Hasil yang paling optimal terdapat pada tekanan yang tinggi dengan menghubungkan kandungan komposisi CH_4 dan CO_2. Penelitian ini juga memberikan kemudahan dalam merancang dan mengaplikasikan kondisi operasi terkait pengaruh tekanan operasi, serta meningkatkan produksi gas CH_4 sebagai energi pembakaran dan kontribusi biogas sebagai energi biomassa.

Referensi

[1] J. Lu, X. Gao, Biogas: Potential, challenges, and perspectives in a changing China, Biomass Bioenergy, 150 (2021) 106127.
[2] F. Vega, M. Cano, S. Camino, L.M.G. Fernández, E. Portillo, B. Navarrete, Solvents for Carbon Dioxide Capture, Carbon Dioxide Chemistry, Capture and Oil Recovery, 2018.
[3] S.N. Khan, S.M. Hailegiorgis, Z. Man, A.M. Shariff, High pressure solubility of carbon dioxide (CO2) in aqueous solution of piperazine (PZ) activated N-methyldiethanolamine (MDEA) solvent for CO_2 capture, AIP Conference Procceedings, 2017.
[4] S. Sehgal, J.L. Alvarado, I. Hassan, S.T. Kadam, A comprehensive review of recent developments in falling-film, spray, bubble and microchannel absorbers for absorption systems, Renew. Sustain. Energy Rev., 142 (2021) 110807.
[5] S. Valluri, S.K. Kawatra, Use of frothers to improve the absorption efficiency of dilute sodium carbonate slurry for post combustion CO_2 capture, Fuel Process. Technol., 212 (2021) 106620.
[6] S.B. Saleh, A. Razali, R. Hanafiah, A.M Tamidi, Z.P. Chan, Optimization of MDEA-PZ ratio and concentration for CO_2 removal in semi-lean membrane contactor process, E3S Web of Conferences, 2021.
[7] Y.E.A. Elhosane, Kinetic study of carbon dioxide absorption into glycine promoted methyldiethanolamine (MDEA), 2016.
[8] S.S. Kapdi, V.K. Vijay, S. Rajesh, R. Prasad, Biogas scrubbing, compression and storage: Perspective and prospectus in Indian context, Renew. Energy, 30 (2005) 1195–1202.
[9] D. Haldar, N. Bhattacharjee, A.M. Shabbirahmed, G.S. Anisha, A.K. Patel, J.S. Chang, C.D. Dong, R.R. Singhania, Purification of biogas for methane enrichment using biomass-based adsorbents: A review, Biomass Bioenergy, 173 (2023) 106804.
[10] N. Scarlat, J.F. Dallemand, F. Fahl, Biogas: Developments and perspectives in Europe, Renew. Energy, 129 (2018) 457–472.
[11] M. Kong, S. Chen, J. Zhao, Effect of pressure on methane absorption characteristic in IR region, Sixth International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, SPIE, 2010, pp. 75444L.
[12] X. Li, Z. Li, T. Ren, B. Nie, L. Xie, T. Huang, S. Bai, Y. Jiang, Effects of particle size and adsorption pressure on methane gas desorption and diffusion in coal, Arab. J. Geosci., 12 (2019) 1–17.
[13] H. Ababneh, A. AlNouss, I.A. Karimi, S.A. Al-Muhtaseb, natural gas sweetening using an energy-efficient, state-of-the-art, solid–vapor separation process, Energies, 15 (2022) 5286.
[14] A.W. Dowling, S.R. Vetukuri, L.T. Biegler, Large-scale optimization strategies for pressure swing adsorption cycle synthesis, AIChE Journal, 58 (2012) 3777-3791.
[15] M. Xu, S. Chen, D.K. Seo, S. Deng, Evaluation and optimization of vpsa processes with nanostructured zeolite NaX for post-combustion CO2 capture, Chem. Eng. J., 371 (2019) 693–705.