

PEMURNIAN BIOGAS TERHADAP GAS PENGOTOR KARBONDIOKSIDA (CO₂) DENGAN TEKNIK ABSORBSI KOLOM MANOMETER (*MANOMETRY COLUMN*)

Nanang Apriandi MS¹, IGB Wijaya Kusuma² dan I Made Widiyarta²

¹ Mahasiswa Magister Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.

² Teknik Mesin Universitas Udayana, Jimbaran, Bali.

Email : edhoms@gmail.com

Abstraksi ; Biogas merupakan salah satu teknologi ramah lingkungan yang dapat menjadi sumber energi alternatif dan sangat berpotensi untuk dikembangkan. Kandungan gas metana yang dominan menjadikan biogas dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, tingkat kemurnian CH₄ yang dihasilkan merupakan faktor yang sangat penting. Optimalisasi pemanfaatan biogas dapat dilakukan dengan cara menghilangkan gas-gas yang berpotensi menghambat proses pembakaran biogas, salah satunya adalah karbondioksida. CO₂ yang mana di dalam pembakaran secara tidak langsung mempengaruhi kualitas hasil pembakaran. Di samping itu, keberadaan CO₂ di dalam biogas mempunyai persentase yang cukup besar (24-45%). Di dalam penelitian ini, pengurangan gas CO₂ di dalam biogas dilakukan dengan menggunakan teknik absorpsi kolom manometer, dengan menggunakan absorben Ca(OH)₂. Variabel-variabel yang dipelajari meliputi variabel proses, diantaranya konsentrasi absorben dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi. Konsentrasi absorben divariasikan dari 1M, 2M dan 3M, sedangkan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi divariasikan dari 10cm, 30cm dan 40cm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil penyerapan CO₂ yang paling maksimal, sehingga dapat digunakan di dalam upaya pemurnian biogas. Hasilnya, kadar CO₂ yang terdapat di dalam biogas hasil pemurnian pada kisaran 30,61% vol (dari sebelumnya 59,95% vol), dan kadar CH₄ yang terkandung di dalam biogas setelah pemurnian yaitu pada kisaran 68,74% vol (dari sebelumnya 39,60% vol), yang terjadi pada proses absorpsi dengan konsentrasi absorben 3M dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi 40cm. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, teknik absorpsi kolom manometer dapat digunakan sebagai salah satu teknik alternatif dalam proses pemurnian biogas. Perbedaan konsentrasi dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi, berbanding lurus dengan kemampuan penyerapan gas CO₂.

Kata kunci : biogas, karbondioksida, manometry column.

Abstrac : *Biogas is one of eco-friendly industries that can be an alternative energy resources and very potential to develop. Its dominant methane content makes it to able to function as a fuel. The CH₄ level of purity it produce is very important factor. Optimizing the use of biogas can be done by removing gases potential to resist to biogas combustion, one of which is carbon dioxide. In combustion, CO₂ in biogas is in a big amount (24 % - 45%). In this research, the reduction of CO₂ in biogas is done by using manometer column absorbing technique, using absorbent Ca (OH)₂. Variable studied are process variables, including absorbent concentration and the high level of absorbent in absorbtion column. Absorbent concentration varied, such as 1 M, 2 M, and 3 M, while the absorbent level in absorbtion column varied from 10 cm, 30 cm, and 40 cm. this study aimed at obtain the maximum CO₂ absorbtion result, that it can be used in biogas purification. The result showed that, consistence of CO₂ in biogas upon purification was 30,61 % vol (formerly 59,95 % vol) and CH₄ concentration in biogas upon purification was 68,74 % vol (formerly 39,60 % vol) occurred in absorbtion process with absorbent concentration 3 M, and absorbent hight level in absorbtion technique can be used as one of alternative technique in the biogas purification. The different of concentration and absorbent height level in absorbtion column is in line with ability to absorb CO₂.*

Key word : *biogas, carbon dioxide, manometer column.*

I. PENDAHULUAN

Biogas merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang memiliki prospek untuk dikembangkan. Selain merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, pengembangan biogas juga dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, terutama bahan bakar minyak (BBM), disamping itu juga dapat meningkatkan keamanan pasokan energi nasional.

Namun demikian, selain metana (CH₄), keberadaan unsur-unsur lain di dalam biogas, misalnya CO₂, H₂O dan H₂S, menyebabkan pemanfaatan biogas sebagai sumber energi alternatif cenderung belumlah optimal. Hal ini disebabkan oleh keberadaan unsur-unsur lain yang disinyalir sebagai unsur-unsur penghambat itu dapat mengurangi nilai kalor dan menghambat proses pembakaran daripada biogas itu sendiri. Semakin besar kandungan metana (CH₄) dalam

biogas maka semakin bagus proses pembakarannya, demikian sebaliknya.

Secara teoritis, pada proses pembakaran sempurna gas metana akan mengikuti reaksi $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. Karbondioksida (CO_2) yang dalam proses pembakaran sempurna gas metana merupakan hasil dari pembakaran itu sendiri, tentunya apabila terdapat dalam kandungan bahan bakar secara tidak langsung akan mempengaruhi kualitas dari pembakaran dan persentase panas yang dihasilkan oleh bahan bakar tersebut. Sementara itu, kandungan CO_2 di dalam biogas mempunyai persentase yang cukup besar (berkisar antara 25 - 45%). Menghilangkan kandungan CO_2 dalam biogas akan memberikan kualitas biogas yang lebih baik dan nilai energi yang konstan. Untuk itulah pengurangan atau bahkan penghilangan kandungan CO_2 ini di dalam biogas sangatlah mutlak untuk dilakukan.

Di dalam penelitian ini, pengurangan gas CO_2 di dalam biogas dilakukan dengan menggunakan teknik absorpsi kolom manometer, dengan menggunakan absorben $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dimana kadar CaO yang digunakan $\leq 65\%$. Variabel-variabel yang dipelajari meliputi variabel proses, diantaranya konsentrasi absorben dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi. Konsentrasi absorben divariasikan dari 1M, 2M dan 3M, sedangkan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi divariasikan dari 10cm, 30cm dan 40cm.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil penyerapan CO_2 yang paling maksimal, sehingga dapat digunakan di dalam upaya pemurnian biogas.

II. METODE PENELITIAN

Di dalam penelitian ini metode penelitian yang digunakan yaitu metode *library research* (studi literatur) yaitu dengan mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, dan menggunakan metode eksperimen secara langsung yaitu dengan cara menyelidiki hubungan sebab - akibat dari beberapa kondisi perlakuan dengan menggunakan alat peraga atau alat pengujian.

Adapun variabel-variabel dalam penelitian ini terbagi dalam dua variabel besar, yaitu :

a. Variabel Tetap

Variabel tetap yaitu variabel yang selama proses penelitian dikondisikan sama dan diasumsikan konstan. Adapun variabel tetap dalam penelitian ini antara lain :

1. Tekanan biogas umpan (P_0).
2. Kecepatan biogas umpan (V_0).
3. Jarak waktu pengambilan sampel masing-masing pengujian selama 5 menit.
4. Temperatur operasi (T_{op}) : pada temperatur lingkungan ($\pm 30^\circ\text{C}$).

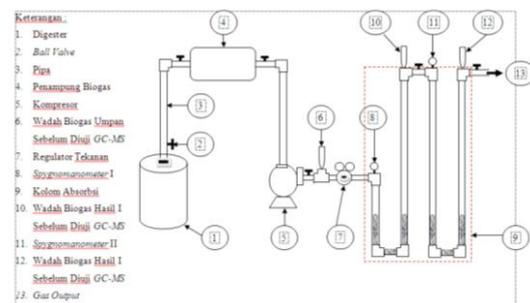
b. Variabel Terikat

Variabel terikat, yaitu variabel yang menjadi tujuan utama dari penelitian, dimana tujuan utama dari penelitian adalah menjelaskan variabel terikat. Dengan menganalisa variabel terikat diharapkan dapat ditemukan jawaban atas permasalahan yang ingin dipecahkan di dalam penelitian ini. Yang menjadi variabel terikat dari penelitian ini adalah kualitas biogas (kemurnian kadar CH_4) setelah dilakukan pemurnian biogas dengan metode absorpsi secara kimia pada kolom absorpsi tipe kolom manometer (*manometry column*) dengan menggunakan absorben kalsium oksida (CaO) dalam bentuk larutan kapur $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

c. Variabel Bebas

Variabel bebas, yaitu kondisi yang dikehendaki oleh peneliti, yang mana di dalam proses penelitian akan mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas yaitu :

1. Variasi konsentrasi absorben 1M, 2M dan 3M.
2. Variasi ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi : 10 cm, 30 cm dan 40 cm.



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

Pengukuran kadar kandungan biogas baik sebelum maupun sesudah proses pemurnian menggunakan *Gas Chromatografi Mass Spektrometry* (GC-MS) yang dilakukan di Laboratorium Forensik Badan Reserse dan Kriminal Markas Besar Kepolisian Indonesia Cabang Denpasar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kolom absorpsi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelancaran proses absorpsi selain absorben. Hal ini disebabkan karena kolom

absorpsi merupakan tempat berlangsungnya proses absorpsi yaitu tempat dimana terjadinya kontak antara absorben dengan unsur/senyawa yang akan diabsorpsi/diserap. Kolom manometer pada prinsipnya merupakan kolom cairan yang digunakan untuk menentukan perbedaan tekanan. Namun demikian, kolom manometer ini dapat juga dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif kolom absorpsi.

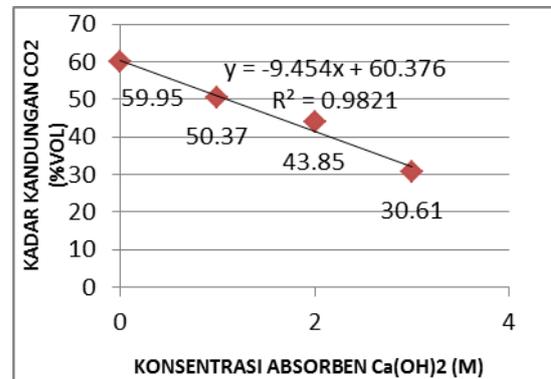
Kolom manometer sebagai kolom absorpsi pada prosesnya memanfaatkan tekanan hidrostatik yang terdapat di dalam fluida kerja. Tekanan hidrostatik itu sendiri adalah kesetimbangan antara tekanan-tekanan normal dan gaya gravitasi. Pada pemurnian biogas dengan teknik kolom manometer, biogas umpan terlebih dahulu dinaikkan tekanannya dengan menggunakan kompresor dan diatur tekanan keluarannya menggunakan regulator tekanan sehingga didapatkan tekanan alir biogas yang masuk ke dalam kolom absorpsi konstan. Tekanan alir biogas yang konstan dan kontinyu akan memberikan daya dorong pada absorben yang terdapat di dalam kolom absorpsi hingga pada batas ketinggian maksimum yaitu pada kondisi dimana antara tekanan pendorong dan massa dari pada absorben itu saling meniadakan (adanya kesetimbangan) akibat adanya pengaruh gaya gravitasi.

Absorben yang terdapat pada kolom manometer dengan dua kolom vertikal dan satu kolom horizontal yang dirangkai menyerupai huruf U, yang mana pada proses terjadinya dorongan pada absorben akibat adanya tekanan yang kontinyu dari biogas umpan, akan membentuk celah pada permukaan bagian atas pada kolom horizontal, pada kondisi dimana absorben sudah mencapai ketinggian maksimum yang mampu diberikan oleh tekanan alir biogas, yang akan mengakibatkan masuknya biogas pada celah-celah tersebut.

Biogas yang terperangkap pada celah-celah ini akan membentuk gelembung-gelembung udara yang akan naik menuju ke permukaan absorben. Hal ini diakibatkan karena massa jenis biogas yang lebih rendah dari pada massa jenis absorben dan adanya aliran biogas yang terus-menerus. Gelembung-gelembung inilah yang akan memberikan kontak dengan absorben sehingga terjadi proses absorpsi. Ukuran gelembung-gelembung ini akan berpengaruh terhadap hasil daripada proses absorpsi tersebut.

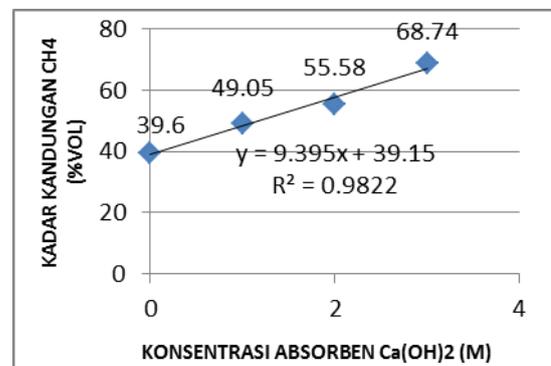
Di dalam proses absorpsi, keberadaan absorben merupakan hal yang paling penting, selain kolom absorpsi. Pemilihan jenis absorben akan menentukan hasil akhir dari proses. Pada

penyerapan CO₂ dengan konsentrasi tinggi digunakan absorben berbasis karbonat/panas. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses absorpsi adalah konsentrasi/kepekatan dari absorben yang digunakan.



Gambar 2. Profil penurunan kadar CO₂ pada konsentrasi absorben yang berbeda

Pada Gambar 2 terlihat bahwa kadar CO₂ yang terdapat di dalam biogas hasil pemurnian yang paling rendah yaitu pada kisaran 30,61 % Vol, pada perlakuan dengan menggunakan konsentrasi absorben 3M. Sementara itu, untuk konsentrasi absorben 1M dan 2M, kadar CO₂ yang terkandung masing-masing sebesar 50,37 % Vol dan 43,85 % Vol. Secara umum, absorben dengan konsentrasi 1M, 2M dan 3M ini mampu menurunkan kadar CO₂ yang terdapat di dalam biogas dari sebelumnya 59,95 % Vol.



Gambar 3. Profil peningkatan kadar CH₄ pada konsentrasi absorben yang berbeda

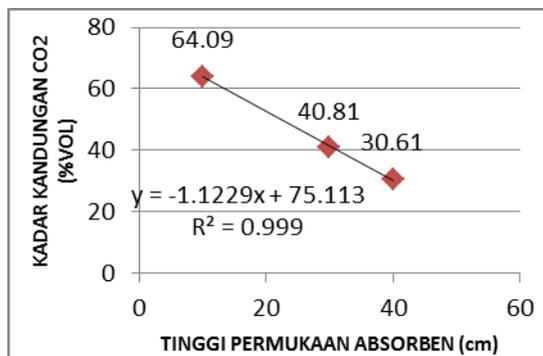
Menurunnya kadar kandungan CO₂ setelah proses absorpsi dikarenakan absorben Ca(OH)₂ sangat reaktif terhadap CO₂. Larutan Ca(OH)₂ atau yang lebih dikenal dengan larutan kapur apabila dilewatkan gas karbondioksida (CO₂) akan sangat mudah bereaksi. Setelah bereaksi, larutan kapur ini akan terlihat lebih keruh karena terbentuknya endapan kalsium karbonat (CaCO₃).

Reaksi kimia berlangsung dengan kecepatan yang berbeda-beda. Salah satu faktor

yang mempengaruhinya adalah konsentrasi larutan. Absorben $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi 3M mampu menyerap CO_2 lebih besar daripada absorben dengan konsentrasi 1M dan 2M. Hal ini disebabkan karena absorben/larutan dengan konsentrasi yang besar (pekat) mengandung partikel yang lebih rapat yang berarti semakin banyak molekul-molekul dalam setiap satuan luas ruangan yang mengakibatkan luas kontak antara absorben dengan gas yang diserap semakin besar sehingga tumbukan antar molekul makin sering terjadi dan reaksi berlangsung semakin cepat.

Pada suatu kumpulan gas (biogas) yang terdiri dari campuran beberapa gas tentunya disatu sisi, pengurangan kadar kandungan daripada salah satu gas, disisi lain akan menyebabkan peningkatan kadar gas lainnya. Pada hal ini, berkurangnya kadar CO_2 pada biogas tentunya akan menyebabkan kadar CH_4 akan semakin meningkat, yang artinya kemurnian daripada CH_4 itu semakin tinggi. Pada Gambar 3 terlihat bahwa kadar CH_4 yang dihasilkan maksimal pada level 68,74 %Vol, terjadi pada perlakuan dengan konsentrasi absorben $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 3M. Disisi lain, pada kondisi inilah terjadi penurunan kadar CO_2 yang paling tinggi, dimana kadar CO_2 yang tersisa yang terdapat di dalam biogas sebanyak 30,61 %Vol dari sebelumnya 59,95 %Vol.. Hal ini berarti, semakin besar kadar CO_2 yang dapat terserap (semakin kecil kadar CO_2 yang tersisa di dalam biogas) maka akan semakin besar kadar CH_4 yang dihasilkan (semakin tinggi tingkat kemurnian CH_4 yang terdapat di dalam biogas).

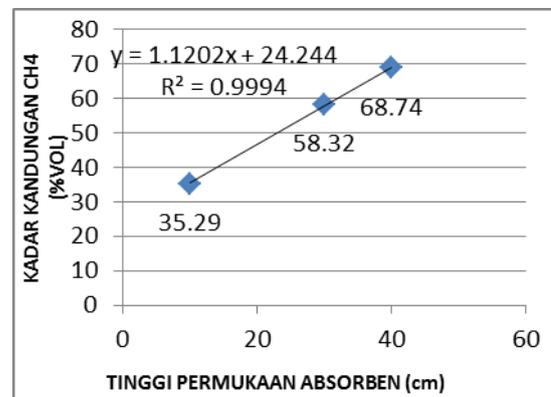
Dari Gambar 2 dan Gambar 3 dapat juga dilihat koefisien determinasi dari masing-masing perlakuan hampir mendekati satu (masing-masing $R^2=0,982$). Artinya, konsentrasi absorben $\text{Ca}(\text{OH})_2$ berbanding lurus dengan kemampuan penyerapan CO_2 (pengurangan kadar CO_2) dan peningkatan kadar CH_4 yang dihasilkan.



Gambar 4. Profil pengurangan kadar CO_2 pada tinggi permukaan kolom absorben yang berbeda

Dengan berkurangnya kadar CO_2 yang terdapat di dalam biogas setelah proses absorpsi, maka tingkat kemurnian kandungan CH_4 akan semakin besar.

Di dalam kolom absorpsi tipe manometer kolom, yang mana pada proses absorpsi memanfaatkan tekanan hidrostatik di dalam fluida, tentunya ketinggian permukaan absorben yang terdapat di dalam kolom absorpsi tersebut mempunyai pengaruh yang sangat besar. Hal ini menyebabkan tekanan yang dibutuhkan selama proses absorpsi akan semakin meningkat, dan dengan kondisi tekanan alir biogas yang konstan, akan memberikan efek pada laju alir biogas yang melewati fluida akan semakin kecil. Besar kecilnya laju aliran biogas akan mempengaruhi tinggi rendahnya laju reaksi.



Gambar 5. Profil peningkatan kandungan CH_4 pada ketinggian permukaan absorben yang berbeda

Pada Gambar 4 terlihat bahwa kadar CO_2 yang terdapat di dalam biogas hasil pemurnian yang paling rendah yaitu pada kisaran 30,61 %Vol, pada perlakuan dengan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi 40 cm. Sementara itu, untuk ketinggian 10 cm dan 30 cm, kadar CO_2 yang terkandung masing-masing sebesar 64,09 %Vol dan 40,81 %Vol.

Ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi cenderung berbanding langsung dengan kemampuan penyerapan CO_2 . Hal ini disebabkan karena ketinggian permukaan absorben tersebut akan mempengaruhi laju alir dari pada biogas yang semakin rendah yang menyebabkan waktu kontak antara biogas dengan absorben akan semakin lama.

Dari Gambar 4 juga dapat dilihat nilai dari koefisien determinasi yang hampir mendekati satu ($R^2=0,999$). Hal ini berarti ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi berbanding lurus dengan kemampuan penyerapan CO_2 yang berakibat pada semakin berkurangnya

kadar CO₂ yang terdapat di dalam biogas hasil pemurnian.

Berkurangnya kadar CO₂ disatu sisi akan mengakibatkan meningkatnya kadar CH₄ disisi lain. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 5 dimana pada ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi 40 cm, kadar CH₄ yang dihasilkan paling maksimal pada kisaran 68,74 % Vol, sementara itu disisi lain, pada ketinggian yang sama kadar CO₂ yang tersisa pada biogas hasil pemurnian paling rendah pada level 30,61 % Vol. Untuk ketinggian 10 cm dan 30 cm, kadar CH₄ yang dihasilkan masing-masing sebesar 35,29 % Vol dan 58,32 % Vol. Dari Gambar 5 ini juga terlihat besarnya koefisien determinasi yang mendekati satu ($R^2=0,999$), yang berarti tinggi permukaan absorben pada kolom absorpsi berbanding lurus dengan peningkatan kadar CH₄ yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian di atas, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu : mekanisme alat pemurnian dengan teknik *manometry column* dapat digunakan sebagai salah satu teknik alternatif untuk mereduksi gas CO₂ dari biogas dengan proses absorpsi. Pengurangan kadar CO₂ yang mengakibatkan meningkatnya kadar CH₄ yang paling maksimal terjadi pada proses absorpsi dengan menggunakan absorben Ca(OH)₂ dengan konsentrasi 3M dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi adalah 40cm. Perbedaan konsentrasi dan ketinggian permukaan absorben pada kolom absorpsi, berbanding lurus dengan kemampuan penyerapan gas CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andri, C. K. dan Hadiyanto. 2000. Absorpsi Gas Karbondioksida Dengan Larutan Soda Api Dalam Kolom Unggun Tetap. *Forum Teknik*. Jilid 24. No. 2.
- [2] Deublein, D., and Steinhauser, A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction. *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA Weinheim*. ISBN : 978-3-527-31841-4
- [3] Haryati, T. 2002. Biogas : Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. (*laporan penelitian*). Bogor : Balai Penelitian Ternak.
- [4] Horikawa, M. S., Rossi, F., Gimenes, M. L., Costa, C. M. M. and Da-Silva, M. G. C. 2004. Chemical Absorption of H₂S for Biogas Purification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 21(03). P. 415-422.
- [5] Kapdi, S. S., Vijay, V. K., Rajest, S. K. and Prasat, R. 2004. Biogas Scrubbing Compression and Storage : Perspective and Prospectus in India Context. *Renewable Energy*. 4:1-8.
- [6] Kartohardjono, S., Sari, M. Dan Yuliusman. 2006. Absorpsi CO₂ Melalui Kontraktor Membran Serat Berongga Menggunakan Pelarut Air dan Larutan 0,01M NaOH. (*laporan penelitian*). Depok : Universitas Indonesia.
- [7] Keenan, C.W., Kleinfelter, D. C. and Wood, J. H. 1991. Kimia Untuk Universitas. Edisi Keenam. Jilid 1. Alih Bahasa Oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [8] Kottner, M. 2002. Dry Fermentation : a New Method for Biological Treatment in Ecological Sanitation Systems (Ecosam) for Biogas and Fertilizer Production from Stackable Biomass Suitable for Semiarid Climates. In *3rd International Conference and Exhibition on Integrated Environmental Management in Southern Africa*. Johannesburg. South Africa. Aug : 27-30.
- [9] Lastella, G., Testa, C., Cornacchia, G., Notornicole, M., Voltasio, F. and Sharma, V. K. 2002. Anaerobic Digestion of Semi-Solid Organic Waste : *Biogas Production and Its Purification Energy Conversion and Management*. Vol. 43. Issue I. PP. 63-75.
- [10] Maarif, F. dan Januar, A. F. 2007. Absorpsi Gas Karbondioksida (CO₂) Dalam Biogas Dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu (*laporan penelitian*). Semarang : Universitas Diponegoro.
- [11] Mahajoeno, E. 2008. "Pengembangan Energi Terbarukan Dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit" (*disertasi*). Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- [12] Meynell, P. J. 1976. Methane : Planning a Digester. Prism Press. Great Britain.
- [13] Sawyer, C. N. and Mc-Carty, P. L. 1981. Chemistry for Engineering. Third Edition. McGraw-Hill Book Company. New York. P. 89.
- [14] Setiadi, Tania, N. H., Hantizen dan Supramono, D. 2008. Studi Absorpsi CO₂ Menggunakan Kolom Gelembung Berpancaran Jet (Jet Bubble Column).

Makara Teknologi. Vol. 12. No. 1. PP. 31-37. Depok : Universitas Indonesia.

- [15] Van-Bhat, R. D., Kuipers, J. A. M. dan Versteeg, G. F. 2000. Mass Transfer with Complex Chemical Reactions in Gas-Liquid System: Two-Step Reversible Reactions with Unit Stoichiometric and Kinetic Orders, *Chemical Engineering Journal*, vol 76, jilid 2, p: 127-152.
- [16] Vijay, V. K., R. Chandra, P. M. V. Subbarao and Kapdi, S. S. 2006. Biogas Purification and Bottling into CNG Cylinders : Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Application. *The 2nd Joint International Confrence on : Sustainable Energy and Environment (SEE)*. C-003 (O). P. 1-6.
- [17] White, F. M. 1988. *Fluid Mechanics*. Second Edition. McGraw-Hill. Ltd. Alih Bahasa Oleh Manahan Hariandja. *Mekanika Fluida*. Edisi Kedua. Jilid 1. Jakarta : Penerbit Erlangga. Hal : 53-66., 304-312.