

# Pengaruh Purifikasi Biogas terhadap Efisiensi Overall Generator Listrik

Bobby Rama Jaya R., Ardhiya, Fadlilatul Taufany, Susianto, Edy Hartono  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: f\_taufany@chem-eng.its.ac.id, susianto@chem-eng.its.ac.id

**Abstrak** — Kebutuhan energi dunia terutama yang bersumber pada bahan bakar fosil di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber energi baru terbarukan yang melimpah sebagai energi alternatif pengganti energi fosil, yaitu pemanfaatan energi biogas. Biogas merupakan produk akhir/degradasi anaerobik biomassa oleh bakteri metanogen. Secara umum biogas memiliki kandungan metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 54%, karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebesar 33% dan sisanya merupakan udara ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{S}$ ) sebesar 13%. Biogas berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Namun, biogas perlu diolah agar memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu biogas dengan kandungan metana  $\geq 75\%$  (Standard GPSA) dengan cara menghilangkan pengotornya berupa kandungan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi kelayakan secara teknis dan ekonomis dari sistem *acid gas removal* absorpsi kimiawi dengan alkali, larutan garamnya dan amine serta dehidrasi terhadap efisiensi *overall* generator listrik dan mengetahui efisiensi *overall* tertinggi dari berbagai macam *load* (25%, 50%, 75%, dan 100%) pada *load bank test*. Metodologi yang digunakan ada dua tahap yaitu tahap persiapan *feed* berupa biogas yang diproduksi oleh reaktor anaerobik 5000 L dan studi kelayakan secara teknis dan ekonomis penggunaan absorban optimum. Biogas dialirkan melalui *packed column* yang dikontakkan dengan absorban. Absorban yang digunakan berupa alkali dan garamnya ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) serta *amine* berupa DEA pada proses *acid gas removal*. Kemudian biogas dialirkan ke dalam *packed column* yang berisi *molecular sieve* pada proses dehidrasi. *Treated* biogas kemudian di kompresi ke dalam tangki pada tekanan 8 bar. Selanjutnya gas dibakar di dalam generator listrik untuk mengamati performansi *gas engine* dengan berbagai beban. Terakhir mencatat tegangan, arus, dan laju alir biogas. Dari hasil penelitian dan pembahasan didapatkan bahwa setelah dilakukan studi secara teknis dan ekonomis, absorban  $\text{NaOH}$  merupakan absorban yang paling optimum dalam penelitian ini dengan jumlah nilai 93.10 dari total nilai 100. Serta efisiensi *overall* tertinggi didapatkan dengan menggunakan absorban  $\text{K}_2\text{CO}_3$  yaitu sebesar 5.64%.

**Kata Kunci**— Alkali dan Garamnya, Amine, Biogas, Listrik, Purifikasi.

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dunia terutama yang bersumber pada bahan bakar fosil di dunia semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Meningkatnya kebutuhan tersebut tidak diikuti dengan peningkatan produksi, justru yang terjadi sebaliknya kapasitas produksi minyak nasional terus menerus mengalami penurunan. Sumber energi yang selama ini digunakan sebagian besar berasal dari bahan

bakar fosil, seperti batubara, minyak bumi, gas alam dan lain – lain. Indonesia sebagai negara tropis memiliki sumber energi baru terbarukan yang melimpah sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Salah satu energi terbarukan alternatif tersebut adalah pemanfaatan energi biogas.

Biogas dapat dikategorikan sebagai bioenergi, karena energi yang dihasilkan berasal dari biomassa. Biogas adalah produk akhir pencernaan/degradasi anaerobik oleh bakteri – bakteri metanogen. Biogas merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari aktifitas kehidupan manusia dan dari usaha peternakan sapi yang terdiri dari feses, urin, dan sisa makanan ternak. Pada umumnya, kisaran umum komposisi biogas yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1, dengan nilai kalor sekitar 15 – 30 MJ/Nm<sup>3</sup>.

Tabel 1. Tabel Kisaran Komposisi Biogas

Komposisi Gas	Kadar (% Volume)
$\text{CH}_4$	55 - 75 %
$\text{CO}_2$	25 - 45 %
$\text{N}_2$	1 - 5 %
$\text{H}_2$	0 - 3 %
$\text{H}_2\text{S}$	0,1 – 0,5 %
$\text{O}_2$	Sisanya

(Sumber: Suyitno, 2010)

Dengan komposisi  $\text{CH}_4$  seperti pada tabel diatas (55 - 75%), biogas sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Dalam aplikasi biogas menjadi bahan bakar pembangkit listrik, biogas perlu diolah terlebih dahulu agar dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu biogas yang memiliki komposisi metana  $\geq 75\%$  (Standard GPSA, untuk *pipeline gas*). Hal ini dapat dilakukan dengan cara menghilangkan kandungan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), hidrogen sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang dapat mengurangi nilai kalor untuk pembakaran dan juga berbahaya bagi proses. Untuk memperoleh kualitas biogas yang diinginkan, biogas dimurnikan dengan cara menghilangkan pengotornya berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ <sup>[13]</sup>. Gas dengan komposisi  $\text{CH}_4$  yang tinggi memiliki *heating value* yang tinggi dibandingkan dengan  $\text{CH}_4$  dengan komposisi yang rendah, sehingga dari *heating value* yang tinggi tersebut membuat efisiensi *overall* (%) dari pembangkit listrik tersebut semakin tinggi pula<sup>[1]</sup>. Telah diteliti pula mengenai efisiensi *overall* pembangkit listrik dengan menggunakan biogas dengan komposisi  $\text{CH}_4$  (45%) tanpa *treatment*  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Di dalam penelitian tersebut, telah disimpulkan bahwa efisiensi *overall* dari pembangkit listrik tidak lebih besar dari gas alam dengan kadar  $\text{CH}_4$  sebesar 90%<sup>[7]</sup>. Biogas dengan komposisi 60% berpengaruh terhadap

kinerja *gas turbine* yang dibandingkan dengan gas alam dengan komposisi 85%. Dalam penelitian tersebut, telah disimpulkan bahwa terjadi penurunan efisiensi *overall* dari *gas engine* dengan menggunakan biogas jika dibandingkan dengan gas alam<sup>[11]</sup>. Telah diteliti pula mengenai perbandingan kadar biogas yang dihilangkan kadar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan H<sub>2</sub>O dengan biogas yang tidak dihilangkan kadar tersebut terhadap efisiensi *overall* pembangkit listrik. Dalam penelitian tersebut telah disimpulkan bahwa efisiensi *overall* pembangkit listrik dari biogas yang telah dihilangkan pengotornya lebih tinggi dibandingkan dengan biogas yang tidak dihilangkan kadar pengotornya<sup>[2]</sup>. Terdapat berbagai macam teknologi telah digunakan untuk menghilangkan kadar CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan H<sub>2</sub>O dari aliran gas. Pada *acid gas removal* yaitu penghilangan kadar CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, ada banyak teknik yang digunakan, yaitu *solvent absorption*, *solid adsorption*, *membrane*, *direct conversion*, dan *cryogenic fractionation*. Untuk *solvent absorption* memiliki 3 teknik untuk *acid gas removal*, yaitu secara kimiawi, fisika, dan juga hybrid. Pada teknik *solvent absorption* secara kimiawi, terbagi menjadi 2 cara, yaitu dengan *amine* dan juga garam alkali. Pada *dehydration* yaitu penghilangan kadar H<sub>2</sub>O, terdapat 2 proses yaitu absorpsi dan adsorpsi. Pada proses absorpsi, pelarut yang banyak digunakan untuk menghilangkan H<sub>2</sub>O adalah glikol seperti EG, DEG, TEG, TREG, dan PG. Sedangkan untuk proses adsorpsi antara lain dengan menggunakan Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), silica gel (SiO<sub>2</sub>), dan *molecular sieve*<sup>[9]</sup>. Setelah dilakukan tahapan seleksi proses (dijelaskan lebih detil di Bab 2) terhadap *pre-treatment* biogas, maka dipilih (a) proses *acid gas removal* CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S dengan menggunakan teknologi absorpsi secara kimiawi yaitu yang memanfaatkan bahan alkali dan garamnya, serta *amine*, (b) proses dehidrasi H<sub>2</sub>O dengan menggunakan teknologi adsorpsi yaitu yang memanfaatkan *molecular sieve* sebagai adsorban/*dessiccant*-nya. Namun demikian, studi kelayakan baik secara teknis dan ekonomis terhadap purifikasi *pre-treatment* biogas secara sistematis dengan memperhatikan faktor seleksi proses di atas, belum pernah dilakukan. Oleh karenanya, studi sistematis ini diharapkan dapat memberikan pemilihan teknologi purifikasi biogas yang optimum, yang dapat meningkatkan efisiensi *overall* dari performansi *gas engine*.

## II. URAIAN PENELITIAN

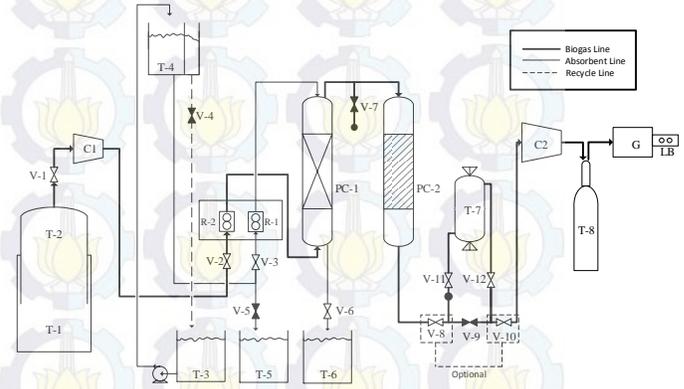
### A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Biogas, Natrium Hidroksida (NaOH), Kalsium Hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>), Kalium Hidroksida (KOH), Natrium Karbonat (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>), Kalium Karbonat (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), Diethanolamine (DEA), dan Aquadest

### B. Tahap Persiapan

Mempersiapkan feed penelitian. Feed yang digunakan pada penelitian ini adalah biogas hasil produksi reaktor 5000 L. Produksi dari biogas ini sendiri membutuhkan waktu sekitar 14 hari dengan volume 3000 L (water volume). Pada reaktor terdapat gas holder 4500 L yang berfungsi untuk menampung biogas selama proses produksi biogas. Biogas disimpan di dalam gas holder dengan tekanan 55 cmH<sub>2</sub>O Gauge (1,055

atm). Kemudian mempersiapkan larutan absorban 0,1 N berupa larutan alkali (KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH), larutan garamnya (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, dan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) dan amine berupa DEA. Lalu mempersiapkan peralatan penelitian.



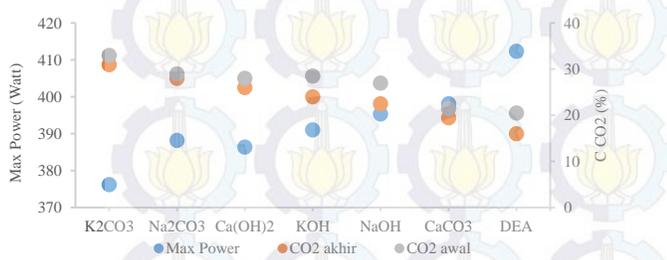
Gambar 1. Skema Peralatan Penelitian

### C. Tahap Penelitian dan Analisa

Mengisi tangki penampung larutan absorban (T-3) dengan 60 L larutan absorban 0.1 N. Kemudian, mengalirkan larutan absorban menuju tangki *overflow* larutan absorban (T-4) dengan menyalakan *power* pada pompa (P) dan membuka V-4. Setelah itu, mengalirkan larutan absorban ke dalam *packed column* (PC-1) dengan membuka V-3 untuk laju alir 0.4 L/min pada pembacaan rotameter (R-1) dan menutup V-5, tunggu hingga larutan absorban keluar dari dasar *packed column* menuju tangki pembuangan absorban hasil absorpsi (T-6). Lalu mengalirkan biogas dari *gas holder* (T-2) dengan membuka V-1 yang terhubung dengan *booster compressor* (C-1) dan membuka V-2 untuk mengatur laju alir pada rotameter (R-1) pada rate 10 L/min, kemudian biogas dialirkan menuju *packed column* (PC-1) hingga biogas dan larutan absorban berkontak pada *raschig ring*. Biogas yang keluar dari *packed column* (PC-1) mengalir menuju *packed column* (PC-2) dengan menutup V-7 hingga biogas berkontak dengan *molecular sieve* dan keluar dari *packed column* (PC-2). Kemudian mengalirkan biogas yang telah terpurifikasi ke tangki penampung sementara (T-7) dengan membuka V-8, V-9, dan V-11 serta menutup V-12 dan V-10. Selama 40 menit. Menyampling biogas yang telah terpurifikasi dengan cara membuka V-11 setelah 5 menit terjadi proses absorpsi dan adsorpsi biogas. Setelah menampung biogas yang telah terpurifikasi selama 40 menit pada tangki penampung sementara (T-7), biogas tersebut dikompresi sebesar 8 bar menggunakan kompresor (C-2) menuju Tangki penampung *treated* biogas (T-8) dengan membuka V-12 dan V-10. Mengalirkan biogas yang sudah dikompresi menjadi 8 bar di dalam Tangki penampung *treated* biogas (T-8) menuju gas generator (G). Menyalakan gas generator dengan menarik tuas yang ada pada generator listrik. Kemudian menaikkan pressure pada regulator tangki penampung *treated* biogas (T-8) hingga 5 bar. Setelah itu mengamati dan mencatat tegangan dan arus pada *load bank test* menggunakan clamp meter dengan berbagai macam beban (variabel) dan melihat pengurangan tekanan pada regulator tangki. Prosedur yang sama dilakukan pada tiap larutan absorben (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan DEA).

### III. HASIL DAN DISKUSI

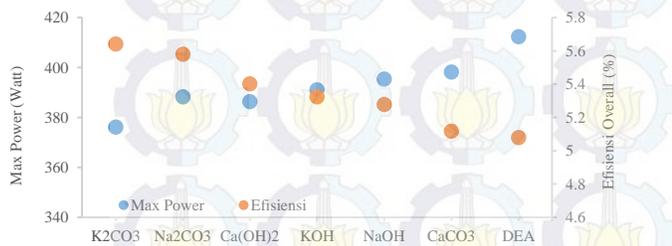
#### A. Hasil Acid Gas Removal dan Load Bank Test



Gambar 2. Hubungan antara maksimum power dengan Konsentrasi CO<sub>2</sub>

Pada Gambar 2, disajikan grafik perbandingan antara maksimum *power* dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> untuk setiap absorbans. Dari data diatas, dapat dilihat bahwa absorbans DEA memiliki maksimum *power* tertinggi dibandingkan absorbans lainnya yaitu sebesar 412.35 watt, hal ini sebanding dengan kadar CO<sub>2</sub> akhir yang paling rendah dibandingkan absorbans lainnya yaitu sebesar 16%. Sehingga dengan kadar CO<sub>2</sub> yang rendah, membuat *power* pada gas generator semakin tinggi karena dengan kadar CO<sub>2</sub> rendah berarti kadar CH<sub>4</sub> menjadi tinggi dan biogas menjadi semakin murni untuk dibakar pada gas generator.

#### B. Hasil Efisiensi Overall



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara *Max Power* dengan Efisiensi Overall

Pada Gambar 3, disajikan grafik hubungan antara *max power* dengan efisiensi overall. Dari data diatas, dapat dilihat bahwa efisiensi overall berbanding terbalik dengan *max power* yang dihasilkan. Semakin tinggi *max power* maka semakin rendah nilai efisiensi overall dari gas engine. Hal ini disebabkan karena spesifikasi gas generator yang digunakan di desain untuk gas LPG. *Rating Gas Generator* jika menggunakan gas LPG akan memiliki *max power* 800 Watt. Sedangkan, dalam penelitian ini *max power* yang bisa dihasilkan hanya mencapai nilai rata – rata 392.54 Watt. Jika ditinjau dari segi *heating value*, LHV dari LPG memiliki nilai 1677.02 kJ/mol sedangkan LHV dari biogas adalah 693.79 kJ/mol. Dari data *heating value* dapat dilihat bahwa LHV Biogas 2.5x lebih kecil dari pada LHV LPG, hal ini yang menyebabkan *max power* yang dihasilkan gas generator saat menggunakan biogas adalah 50% dari *maximum rating* gas generator yaitu 400 Watt. Pada penelitian ini didapatkan nilai efisiensi overall rata – rata dari gas generator adalah 5.35%. Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa *max power* berbanding terbalik dengan efisiensi overall, disebabkan karena energi masuk yang disalurkan ke dalam gas generator berbeda - beda tergantung pada komposisi biogas. Sementara itu gas generator harus bekerja untuk menghasilkan maksimum power yaitu 400 Watt dengan

menggunakan jumlah gas yang sama sebesar 3.18 mol biogas dalam 5 menit. Perbedaan yang cukup signifikan pada energi yang masuk tidak berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan dimana energi keluar tidak jauh berbeda pada setiap absorbans rata – rata 117.76 kJ.

#### C. Hasil Penilaian Akhir Teknis dan Ekonomis

Tabel 2. Penilaian akhir

Bobot	30%	15%	5%	50%	100%
Absorbans	%Recovery	ΔpH	Max Power	Unit Operation Cost	Total
NaOH	16.667	4.090	395.411	119.198	93.100
Nilai	95	83	93	95	
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	6.061	1.180	376.200	47.961	92.250
Nilai	77	100	83	100	
DEA	21.951	1.590	412.335	496.249	91.750
Nilai	100	95	100	85	
KOH	15.789	2.670	391.072	368.834	89.900
Nilai	93	90	90	88	
CaCO <sub>3</sub>	9.302	2.830	398.160	248.096	89.500
Nilai	85	85	95	93	
Ca(OH) <sub>2</sub>	7.143	4.410	386.400	78.588	89.250
Nilai	80	80	85	98	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.448	2.260	388.256	208.121	85.850
Nilai	75	93	88	90	

### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil penelitian studi kelayakan secara teknis dan ekonomis mengenai sistem *acid gas removal* secara absorpsi kimiawi dan dehidrasi biogas terhadap efisiensi overall generator listrik. Maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari studi secara teknis dan ekonomis didapatkan bahwa NaOH merupakan absorbans yang paling optimum dalam penelitian ini dengan jumlah nilai 93.100 dari total nilai 100. Diikuti oleh K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, DEA, KOH, CaCO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan masing – masing nilai 92.250, 91.750, 89.900, 89.500, 89.250, dan 85.850
2. Dari penelitian mengenai efisiensi overall untuk gas generator didapatkan nilai efisiensi overall tertinggi dengan menggunakan absorbans K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan nilai 5.64%. Diikuti oleh Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH, NaOH, CaCO<sub>3</sub>, dan DEA dengan masing – masing nilai 5.57%, 5.4%, 5.43%, 5.27%, 5.11%, dan 5.07%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa atas dukungannya dalam penyelesaian penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boyce, Meherwan. P., *Gas Turbine Engineering Handbook 2<sup>nd</sup> Edition.*, Gulf Professional Publishing, Boston, 2002.
- [2] Coskun, C., Akyuz, E., Oktay, Z., and Dincer, I., *Energy Analysis of Hydrogen Production Using Biogas – Based Electricity*, Science Direct, 36, 11418 – 11424, 2011.
- [3] *Engineering Data Book*, GPSA 11<sup>th</sup> Edition (Electronic) Vol. I & II Section 1 – 26, Gas Processors Association, Oklahoma, 1996.
- [4] Herawati, Dewi. A., Wibawa, Arif. D., and Fitriyawati., Utya., *The Impact of Solvent of Absorbition CO<sub>2</sub> from Biogas Vinasse*, 2014.

- [5] Himabindu, M. and Ravikrishna, R. V., *Performance Assessment of a small Biogas – Fuelled Power Generator Prototype*, Scientific & Industrial Research Vol. 73, 781 – 785, 2013.
- [6] Huertas, J. I., Giraldo, N., and Izquierdo, S. *Removal of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> from Biogas by Amine Absorption*, 2011.
- [7] Kang, Do Won., Kim, Tong Seop., Hur, Kwang Beom., and Park, Jung Keuk. *The Effect of Firing Biogas on the Performance and Operating Characteristics of Simple and Recuperative Cycle Gas Turbine Combined Heat and Power Systems*, Applied Energy, 93, 215 – 228, 2011.
- [8] McCabe, W. L., and Smith J. C., Harriott, P. *Unit Operation of Chemical Engineering 4<sup>th</sup> Edition.*, McGraw-Hill, Inc, New York, 1985.
- [9] Parrish, William. R., and Kidnay, Arthur. J., *Fundamentals of Natural Gas Processing.*, Taylor & Francis Group, London, 2006.
- [10] Seghezzi, Lucas., *Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions*, 2004.
- [11] Somehsaraei, H. N., Majoumerd, M. M., Breuhaus, P., and Assadi, M., *Performance Analysis of a Biogas – Fueled Micro Gas Turbine Using a Validated Thermodynamic Model*. Applied Thermal Engineering, 66, 181 – 190, 2013.
- [12] Suyitno, N., and Dharmanto, M., *Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan.*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.
- [13] Tippayawong, N., and Thanompongchart, P., *Biogas Quality Upgrade by Simultaneous Removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S in a Packed Column Reactor*, Energy, 35, 4531 – 4535, 2009.

