

Pemurnian Produk Biogas dengan Metode Absorpsi Menggunakan Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Naqibat Nadliriyah dan Triwikantoro
Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: triwi@physics.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan penelitian untuk memurnikan biogas dengan metode absorpsi. Penelitian dilakukan dengan membuat biogas berbahan dasar kotoran sapi. Kemudian gas yang dihasilkan dialirkan menuju kolom vertikal yang berisi larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Pemurnian biogas dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi absorben yaitu larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,1M, 1,5M dan 2,5M. Kualitas biogas tersaring dikarakterisasi dengan kromatografi gas, sedangkan endapan penyaring diuji menggunakan metode difraktometer Sinar-X (XRD). Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Match!2, X'pert High Score Plus (HSP) dan Rietica. Hasil uji kromatografi gas dengan detektor ionisasi nyala menunjukkan gas setelah difilter menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,5M, 1,5M, dan 2,5M adalah 100% area, sedangkan sebelum dimurnikan terdapat gas metana sebesar 82,46% area. Dari hasil XRD endapan hasil penyaringan CaCO_3 (kalsit), CO_2 bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membentuk fase kalsit. Semakin besar konsentrasi absorben, kalsit yang terbentuk semakin banyak.

Kata Kunci—pemurnian, biogas, absorpsi, kalsit.

I. PENDAHULUAN

KRISIS energi yang terjadi secara global sekarang disebabkan oleh ketimpangan antara konsumsi dan sumber energi yang tersedia. Sumber energi fosil yang semakin langka membutuhkan energi alternatif yang bisa menggantikannya.

Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang sekarang sedang dikembangkan. Selain murah, biogas juga ramah lingkungan. Secara prinsip pembuatan biogas sangat sederhana, yaitu dengan memasukkan substrat yang berupa kotoran hewan atau manusia ke dalam unit pencernaan (digester) kemudian ditutup rapat, dan beberapa waktu akan terbentuk gas yang dapat digunakan sebagai sumber energi^[1].

Produk biogas terdiri dari metana (50–70 %), karbondioksida (25 – 45 %) dan sejumlah kecil hidrogen, nitrogen, hidrogen sulfida^[2]. Kemurnian metana (CH_4) dari produk biogas tersebut menjadi penting karena mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Dalam hal ini impuritas yang berpengaruh terhadap nilai kalor adalah karbondioksida (CO_2). Keberadaan CO_2 dalam gas CH_4 sangat tidak diinginkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO_2 dalam CH_4 maka

semakin menurunkan nilai kalor CH_4 ditunjukkan dengan warna merah kekuningan pada api yang dihasilkan^[3].

Pengurangan kadar CO_2 secara signifikan akan meningkatkan kualitas produk biogas. Banyak teknologi yang telah dikembangkan untuk pemurnian biogas dari CO_2 ini. Teknologi ini meliputi absorpsi kimia, absorpsi fisik, *cryogenic*, pemurnian dengan menggunakan membran dan fiksasi CO_2 dengan metode biologi atau kimia^[4]. Salah satu cara termudah dan termurah dalam pemurnian biogas yaitu melibatkan penggunaan air bertekanan sebagai penyerap (metode absorpsi).

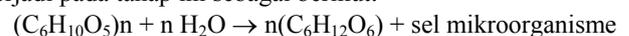
Beberapa penelitian pemurnian biogas dengan metode absorpsi seperti yang dilakukan Cahyaningrat^[5] menggunakan CaO dan anoda korban diperoleh kandungan metana setelah difilter CaO yaitu $1,15 \times 10^6$ ppm.

Pada penelitian ini telah dilakukan pemurnian produk biogas menggunakan metode absorpsi dengan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Karakterisasi dilakukan 2 pengujian yaitu uji kromatografi gas dan uji difraksi sinar-X (XRD). Hasil keluaran *X-Ray Diffractometry* dianalisis menggunakan perangkat lunak Match!2 dan X'pert High Score Plus (HSP) untuk identifikasi fasa, Rietica untuk analisa komposisi fasa.

Tahapan untuk terbentuknya biogas dari proses fermentasi anaerob dapat dipisahkan menjadi tiga tahap sebagai berikut:

a. Tahap Hidrolisis

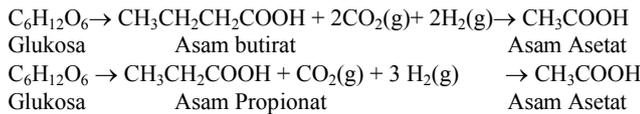
Pada tahap hidrolisis, bahan-bahan biomassa yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan bahan ekstraktif seperti protein, karbohidrat dan lipida akan diurai menjadi senyawa dengan rantai yang lebih pendek^[3]. Reaksi yang terjadi pada tahap ini sebagai berikut:



b. Tahap Asidifikasi (pengasaman)

Pada tahap pengasaman, bakteri akan menghasilkan asam yang akan berfungsi untuk mengubah senyawa pendek hasil hidrolisis menjadi asam asetat, H_2 dan CO_2 . Bakteri ini merupakan bakteri anaerob yang dapat tumbuh pada keadaan asam. Untuk menghasilkan asam asetat, bakteri tersebut memerlukan oksigen dan karbon yang diperoleh dari oksigen yang terlarut dalam larutan. Selain itu, bakteri tersebut juga mengubah senyawa yang bermolekul rendah menjadi alkohol, asam organik, asam amino, CO_2 , H_2S dan sedikit gas CH_4 ^[6]. Reaksi yang terjadi adalah :

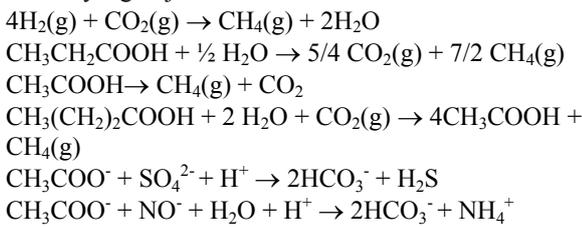




c. Tahap Pembentukan Gas Metana

Setelah material organik berubah menjadi asam asam, maka pada tahap *methanogenesis* dari proses *anaerobic digestion* adalah pembentukan gas metana dengan bantuan bakteri pembentuk metana seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, *methano bacterium*^[7]. Proses ini berlangsung selama 14 hari dengan suhu 35°C di dalam digester. Kondisi optimum berada pada pH 6,8 – 7,2^[3].

Reaksi yang terjadi :



Kemurnian biogas yang dihasilkan dari biodigester belum optimal, hal ini ditunjukkan dengan komposisi gas utama berupa metana dengan kadar antara 40 – 75 %, komposisi biogas seperti pada Tabel 1.

Tabel 1.
Komposisi Kandungan Gas Dalam Biogas

Jenis Gas	Satuan	Komposisi						
		a	b	c	d	e	f	g
Metana (CH ₄)	%	54-70	55-65	55-75	50-75	55-70	40-70	50-60
Karbon Dioksida (CO ₂)	%	27-45	35-45	25-45	25-40	30-45	30-60	40-60
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Ppm	Sedikit	0-1	0-3	<2	<50	0-3	<100
Nitrogen (N ₂)	%	0,5-3	0-3	0-0,3	<2	0-2	-	-
Hidrogen (H ₂)	%	-	0-1	1-5	<1	-	0-1	-
Oksigen (O ₂)	ppm	0,1	-	0,1-0,5	<2	-	-	-

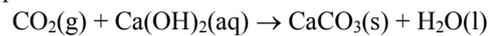
Keterangan : (a) Harahap dkk, 1980; (b) Arifin dkk, 2008; (c) www.kolumbus.fi; (d) Hambali dkk, 2007; (e) Monnet, 2003; (f) Muryanto dkk, 2006; (g) Pellerin dan walker, 1988^[8].

Tujuan penggunaan biogas masyarakat memiliki komposisi standar tertentu sehingga diperlukan pemurnian bahan baku sehingga sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan. Sebagai contoh agar mempunyai nilai kalor yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara mengurangi konsentrasi karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Gas CO₂ dalam biogas perlu dihilangkan karena gas tersebut dapat mengurangi nilai kalor pembakaran biogas. Selain itu, dari Tabel 2 diatas dapat diketahui kandungan gas karbondioksida (CO₂) dalam biogas cukup besar yaitu sekitar 30 – 45 % sehingga nilai kalor pembakaran biogas akan berkurang cukup besar.

Menurut Pabby dkk^[9], komposisi biogas tergantung pada sumber bahan bakunya. Proses pemurnian biogas menggunakan membran sangat baik pada tekanan operasi 5–7 bar. Menurut Noverri^[7], pemilihan metode yang cocok untuk pemisahan CO₂ dari campurannya tergantung pada beberapa parameter, yaitu : konsentrasi CO₂ di aliran umpan, sifat alami komponen umpan, tekanan dan temperatur. Menurut Kapdi dkk^[4], ada beberapa metode pemurnian biogas (*CO₂ removal*), antara lain: absorpsi fisika, absorpsi kimia, adsorpsi, pemisahan dengan membran, *cryogenic* dan konversi kimia menjadi senyawa lain. Absorpsi adalah pemisahan suatu gas tertentu dari campuran gas-gas dengan cara pemindahan massa ke dalam suatu *liquid*. Hal ini dilakukan dengan cara mengantarkan aliran gas dengan *liquid* yang mempunyai selektivitas pelarut yang berbeda dari gas yang akan dipisahkannya^[10].

Dua kriteria suatu teknologi pemisahan akan dipilih jika pertimbangan secara teknis dan ekonomis mudah dilakukan^[6]. Absorpsi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu absorpsi fisika yang disebabkan oleh gaya Van Der Waals (penyebab terjadinya kondensasi untuk membentuk cairan yang ada pada permukaan absorben) dan absorpsi kimia (terjadi reaksi antara zat yang diserap oleh absorben, banyaknya zat yang terabsorpsi tergantung pada sifat khas zat tersebut). Besar kecilnya absorpsi dipengaruhi oleh macam absorben, macam zat yang terabsorpsi, konsentrasi absorben dan zat, luas permukaan, temperatur dan tekanan zat yang terabsorpsi. Absorpsi digunakan untuk menyatakan bahwa ada zat lain yang terserap pada zat itu, misalnya karbon aktif dapat menyerap molekul-molekul asam asetat dalam larutannya. Tiap partikel absorban dikelilingi oleh molekul yang diserap karena terjadi interaksi tarik-menarik.

Absorpsi dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa yang mampu mengikat gas yang tidak diperlukan yaitu dengan senyawa alkali, seperti larutan Ca(OH)₂ sesuai dengan persamaan reaksi berikut:



Larutan Ca(OH)₂ disebut air kapur dan merupakan basa dengan kekuatan sedang dibandingkan larutan NaOH. Larutan tersebut bereaksi hebat dengan berbagai asam, dan bereaksi dengan banyak logam dengan adanya air. Larutan tersebut menjadi keruh bila dilewatkan karbon dioksida, karena mengendapnya kalsium karbonat^[11].

II. METODE

A. Bahan dan peralatan

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini adalah perangkat instalasi reaktor biogas yang terdiri dari jurigen 30L, pipa PVC ¼ inch, sock ¼ inch, knee ¼ inch, tee ¼ inch dan stop keran ¼ inch; selang akuarium, timbangan digital, tisu, masker, plastik polietilen. Untuk karakterisasi sampel digunakan peralatan uji XRD, perangkat uji kromatografi gas, software *X'pert High Score Plus (HSP)* dan software Rietica. Sedangkan

Dalam penelitian ini menggunakan metode pemurnian biogas dengan filtering absorpsi. Dimana sebagai

absorbennya dengan menggunakan larutan Ca(OH)_2 . Batu kapur dihaluskan terlebih dahulu. Setelah itu dilakukan pengujian X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui unsur-unsur dominan yang terdapat dalam batu kapur alam. Hasil pengujian XRF tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menunjang analisa komposisi fasa. Untuk membuat larutan Ca(OH)_2 yaitu dengan melarutkan serbuk CaO dengan aquades agar lebih mudah untuk homogen dan diaduk hingga homogen.

Proses filter dilakukan menggunakan metode absorpsi dengan larutan Ca(OH)_2 . Larutan Ca(OH)_2 yang digunakan untuk filter dengan variasi 0,5 M, 1,5 M, 2,5 M. Setelah melalui sistem filtering ini gas bio akan mengalir menuju reservoir (penampung gas). Lalu, keran yang menghubungkan dengan reaktor maupun reservoir ditutup dan endapan diambil lalu dikeringkan untuk diuji XRD.

Karakterisasi pemurnian produk biogas menggunakan metode absorpsi dilakukan dengan uji kromatografi gas untuk mengetahui komposisi gas. Selain itu endapan pada filter dilakukan karakterisasi dengan uji difraksi sinar-X. Uji XRD dalam penelitian ini menggunakan radiasi $\text{Cu-K}\alpha$ dengan panjang sinar-X 1,54 Å dan analisis sudut $20^\circ - 70^\circ$ dengan *step size* 0,04°. Hasil uji difraksi sinar-X diperoleh informasi berupa komponen fasa yang terbentuk pada endapan [12]. Setelah itu hasil uji difraksi sinar-X dianalisis dengan software *Match* dan *Highscore Plus* untuk identifikasi fasa, dan software *Rietica* untuk mengetahui komposisi fasa dari endapan yang terbentuk.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemurnian Biogas

Proses pemurnian dalam penelitian ini menggunakan metode absorpsi menggunakan larutan alkali Ca(OH)_2 . Dengan penggunaan larutan Ca(OH)_2 sebagai pemfilter diharapkan biogas yang dilewatkan melalui larutan tersebut akan bereaksi. Reaksi yang terjadi adalah antara gas karbon dioksida (CO_2) dengan larutan Ca(OH)_2 menjadi endapan CaCO_3 . Hal ini bisa dibuktikan dengan melakukan pengujian difraksi pada endapan untuk mengetahui fase yang terbentuk pada endapan filter. Selain itu, yang utama dalam penelitian ini adalah dilakukannya pengujian kromatografi gas untuk mengetahui komposisi kandungan biogas.

Pengujian kromatografi gas ini dilakukan empat kali, yaitu untuk sampel biogas tanpa filter, dengan filter menggunakan 3 variasi. Untuk pengujian kromatografi gas tiap sampel dilakukan dua kali dengan menggunakan detektor FID (Flame Ionization Detector) atau detektor ionisasi nyala dan menggunakan detektor TCD (Thermal Conductivity Detector) atau detektor konduktivitas termal.

Pada pengujian gas dengan detektor ionisasi nyala, (Gambar 1) gas yang terdeteksi hanya senyawa yang bisa terbakar. Hal ini dapat terjadi dikarenakan detektor ionisasi nyala (DIN) memiliki sensitivitas yang lebih tinggi hampir bagi semua senyawa organik dibandingkan detektor TCD [13]. Untuk kadar CO_2 tidak bisa terdeteksi karena gas CO_2 merupakan gas yang tidak mudah terbakar.

Selain menggunakan pengujian kromatografi gas dengan detektor ionisasi nyala, juga menggunakan detektor TCD. Hal ini disebabkan pada pengujian kromatografi gas detektor FID tidak bisa mendeteksi senyawa karbondioksida (CO_2). Sebaliknya, pada pengujian kromatografi gas dengan menggunakan detektor TCD tidak bisa mendeteksi adanya senyawa metana (CH_4).

Tabel 2.
Hasil Uji Kromatografi gas dengan detektor FID

No	Komposisi	Konsentrasi (% Area)			
		Biogas tanpa filter	Biogas filter 1	Biogas filter 2	Biogas filter 3
1	CH_4	14982	29032	41690	52753
Total					

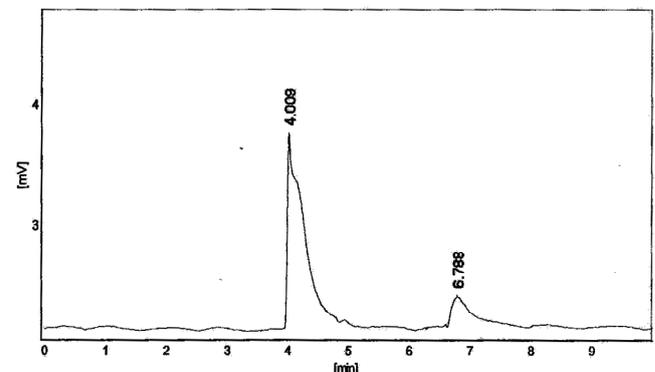
Tabel 3.
Hasil Uji Kromatografi gas dengan detektor TCD

No	Komposisi	Konsentrasi (% Area)			
		Biogas tanpa filter	Biogas filter 1	Biogas filter 2	Biogas filter 3
1	Nitrogen	99,25	99,63	99,84	99,88
2	CO_2	0,75	0,37	0,16	0,12
Total		100,00	100,00	100,00	100,00

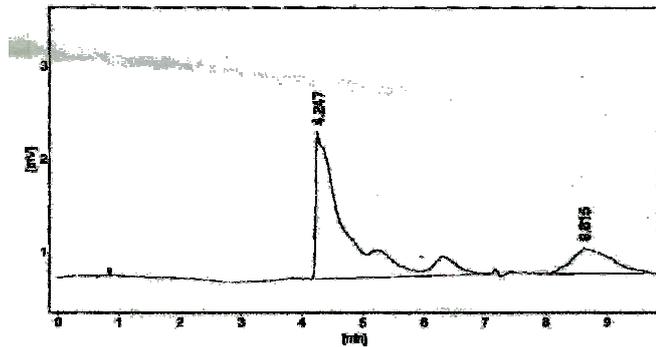
Kandungan nitrogen (udara bebas) yang tinggi dalam sampel bisa berasal dari siring, tempat untuk mengambil sampel gas. Setelah *sample bag* disuntik dengan alat khusus, lubang yang dihasilkan alat tersebut hanya ditutup dengan selotip sehingga akan memungkinkan adanya udara luar yang masuk. Hal ini disebabkan gas metana memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan berat jenis gas CO_2 dan gas nitrogen.

Untuk memastikan endapan filter yang dihasilkan adalah tepat mengandung unsur CaCO_3 , maka dilakukan karakterisasi kristal dengan piranti Difraktometer Sinar X (XRD) agar diperoleh gambaran mengenai komposisi fasa yang terbentuk. Setelah dilakukan penembakan sinar X, maka didapatkan grafik XRD endapan filter seperti ditunjukkan Gambar 3

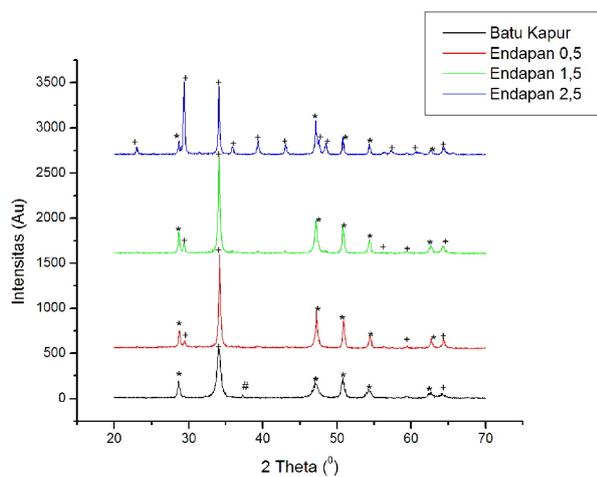
Setelah proses identifikasi fasa selesai dilakukan, studi dilanjutkan dengan analisis kuantitatif untuk penentuan komposisi fasa dengan menggunakan perangkat lunak *Rietica* yang berbasis metode Rietveld



Gambar. 1. Kromatogram biogas tanpa filter dengan detector FID

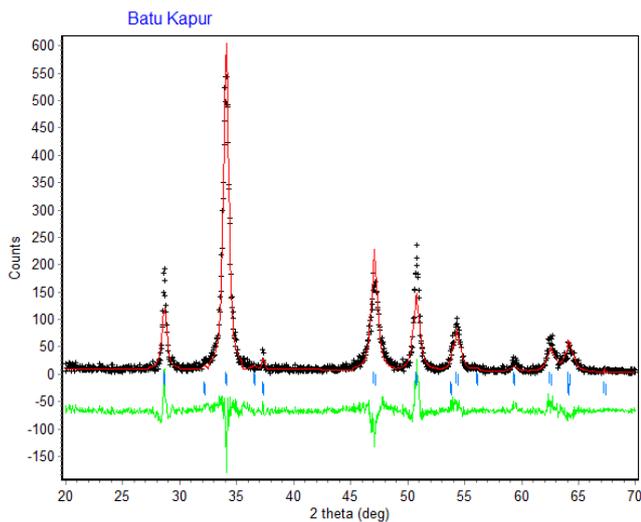


Gambar. 2. Kromatogram biogas filter 3 dengan detector FID



Gambar. 3. Pola difraksi sinar-X (radiasi CuK α dan step size 0,04 $^\circ$) batu kapur dan endapan

* = fasa portlandite; # = fasa lime; + = fasa kalsit



Gambar 4. Pola hasil penghalusan batu kapur

Analisis dengan metode Rietveld didahului dengan pembuatan model pola difraksi terhitung, dimana pola difraksi

terhitung diperoleh berdasarkan data ICSD / CIF yang sesuai dengan fasa yang terbentuk. Nomor CIF untuk fasa *portlandite* adalah 100045, ICSD untuk kalsit adalah 73446. Setelah dilakukan penghalusan dengan melibatkan parameter-parameter background (B0, B1, B2), *sample displacement*, *lattice parameter*, *phase scale*, U parameter, gamma parameter (Γ), dan *preferred orientation* diperoleh plot hasil pencocokan seperti pada Gambar 4., dan parameter kecocokan pada Tabel 4.

Tabel 4
Nilai FoM (Figures of Merit) hasil penghalusan pola difraksi

Nama Sampel	Figures-of-Merit			
	R _p (%)	R _{wp} (%)	R _{exp} (%)	GoF
Batu kapur	20,22	27,59	18,41	2,246
Endapan Filter 1	18,51	23,12	15,25	2,298
Endapan Filter 2	16,35	20,93	15,24	1,887
Endapan Filter 3	12,25	16,70	12,53	1,776

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Larutan batu kapur Ca(OH)₂ bisa digunakan sebagai absorben biogas untuk menghasilkan CH₄ kemurnian tinggi.
2. Endapan hasil penyaringan adalah CaCO₃ dengan fasa kalsit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis N.N mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Triwikantoro, M.Sc selaku dosen pembimbing dan semua pihak yang terlibat dalam penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harahap, F., M. Apandi, S. Ginting. 1980. "Teknologi Gas Bio." Bandung: Pusat Teknologi Pembangunan ITB.
- [2] Price, E.C and Cheremisinoff, P.N. 1981. "Biogas Production and Utilization". United States of America: Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- [3] A.D Burke. *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Environmental Energi Company : Olympia. (2001)
- [4] Kapdi, S.S, V.K. Vijay, S.K. Rajesh and R.Prasad. 2005. "Biogas Scrubbing, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context". *Renewable Energy*, vol. 30, 1196 – 1199.
- [5] L. Cahyaningrat, Pemurnian Produk Biogas Dengan Metode Filtering CaO Dan Anoda Korban (Paduan Zn, Serbuk Fe).
- [6] Naqibatin, N., Ghevanda, I., Riska, A.B., Nurkumala, E., dan Triwikantoro. 2013. "Pemurnian Produk Biogas Dengan Metode Filtering Menggunakan Ca(OH)₂ dari Batu Kapur Alam." Seminar Nasional Fisika. ISSN 2088-4176
- [7] Mara, I Made. 2012. "Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi". *Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 2 No.1, 38-46
- [8] S.K Wahono, R. Maryana, M. Kismurtono, K. Nisa, dan C. D Poeloengasih. 2010 "Modifikasi Zeolit Lokal Gunungkidul Sebagai Upaya Peningkatan Performa Biogas Untuk Pembangkit Listrik". Seminar rekayasa kimia dan proses. ISSN:1411 – 4216
- [9] Harasimowicz, M., P. Orluk, G. Zakrzewska-Trznadel and A.G. Chmielewski, "Application of Polyimide Membranes for Biogas Purification and Enrichment". *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 144, pp. 698 – 702

- [10] H.E. Benson, J.H. Field, W.P. Haynes. 1956. "Improved Process for CO₂-Absorption uses hot Carbonate Solutions", *Chem. Eng. Prog.* 52(10), 433-438.
- [11] Keenan, Charles W, Pudjaatmaka. 1999. "Ilmu Kimia Universitas." Jakarta: Erlangga.
- [12] Pratapa, S. 2004. "Bahan Kuliah Difraksi Sinar-X". Jurusan FMIPA ITS, Surabaya.
- [13] <http://www.ecs.umass.edu/eve/facilities/equipment/Agilent6890/The%20Thermal%20Conductivity%20Detector.pdf> [diakses tanggal 12 Mei 2013]