

PENGARUH KOMPOSISI ADSORBEN CAMPURAN (ZEOLIT-SEMEN PUTIH) DAN WAKTU ADSORPSI PRODUK GAS METANA TERHADAP KUALITAS BIOGAS SEBAGAI BAHANBAKAR ALTERNATIF

Abdullah Saleh*, Dede Anugrah Permana, Riky Yuliandita
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jln. Raya Prabumulih Km. 32 Inderalaya OI, 30662, Indonesia
Email: dullascurtin@yahoo.com

Abstrak

Kandungan didalam biogas yang dapat menurunkan efiseinsi proses pembakaran adalah gas CO₂ dan gas H₂S. Gas ini merupakan gas yang perlu untuk di purifikasi guna meningkatkan persentase kandungan CH₄ di dalam biogas. Terdapat berbagai cara dalam mengurangi kadar CO₂ didalam biogas, salah satunya adalah dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben yang terbuat dari campuran zeolit alam dan semen putih sebagai perekat nya. Zeolit merupakan unsur alam yang dapat menyerap kandungan gas CO₂ yang ada didalam biogas. Komposisi campuran zeolit dengan semen putih dibentuk seperti tabung silinder menyerupai membran keramik yang nantinya akan digunakan dalam proses purifikasi. Biogas dilewatkan kedalam adsorben untuk diserap pengotor nya selama waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit untuk masing-masing campuran zeolit dan semen putih sebanyak 40:60, 50:50, dan 60:40. Dari data hasil penelitian didapat rata-rata persentase CO₂ yang terserap dari adsorben 40:60 adalah sebesar 21,06 %Mol, untuk adsorben 50:50 sebesar 15,27 %Mol, dan untuk adsorben 60:40 sebesar 11,57 %Mol sedangkan rata-rata persentase gas CH₄ pada masing-masing campuran, adsorben 40:60 sebesar 43,58 %Mol, adsorben 50:50 sebesar 55,39 %Mol, dan terakhir adsorben 60:40 sebesar 63,64 %Mol. Proses adsorpsi biogas ini dapat mengurangi kadar pengotor CO₂ didalam biogas sehingga kandungan gas metana didalamnya menjadi lebih bagus.

Kata Kunci : Biogas, purifikasi, adsorben, zeolit, semen putih.

Abstract

The content in biogas which can reduce the efficiency of the combustion process are CO₂ and H₂S gas. This gases needs to be purified in order to increase quality of CH₄ content in biogas. There are various ways to reduce the levels of CO₂ in the biogas, one of them is adsorption using adsorbents made from a mixture of natural zeolite and white cement as an adhesive. Zeolites are natural elements that can absorb existing CO₂ gas content in biogas. The composition of the mixture of zeolite with white cement shaped like a cylindrical tube resembling a ceramic membrane which will be used in the purification process. Biogas is passed into adsorbent to absorb impurities it for 5 minutes, 10 minutes, and 15 minutes for each mixture of zeolite and white cement as much as 40:60, 50:50, and 60:40. From the research data, we obtained percentage average CO₂ absorbed from adsorbent 40:60 is 21.06%Mol, for adsorbent 50:50 is 15.27%Mol, and 11.57%Mol for adsorbent 60:40. Average percentage of CH₄ in each mixture, adsorbent 40:60 is 43.58% Mol, adsorbent 50:50 55.39%Mol, and the last for adsorbent 60:40 is 63.64%Mol. This biogas purification aim to reduce impurities levels of CO₂ in biogas so the methane gas content therein becomes more qualified.

Keywords: Biogas, purification, adsorbent, zeolite, white cement.

1. PENDAHULUAN

Menipisnya cadangan sumber energi tak terbaharukan di dunia terutama di Indonesia menjadi masalah yang sentral dalam memenuhi kebutuhan akan energi. Mengingat dari waktu ke waktu kebutuhan akan energi semakin meningkat perlu adanya upaya untuk mengatasi permasalahan mengenai keterbatasan sumber energi tak terbaharukan ini. Seiring perkembangan zaman, telah banyak sumber energi alternatif yang dikembangkan oleh manusia. Salah satu sumber energi alternatif yang saat ini banyak dikembangkan yaitu biogas.

Biogas dapat menjadi solusi alternatif untuk memproduksi listrik. Dengan kandungan gas metana nya yang cukup tinggi, biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin CNG pada industri atau rumah tangga. Namun biogas memiliki pengotor-pengotor yang cukup tinggi pula seperti CO₂ yang dapat menurunkan efisiensi panas pada biogas serta kandungan H₂S yang berpotensi mencemari lingkungan. Senyawa-senyawa pengotor tersebut perlu dihilangkan agar menghasilkan produk biogas yang memiliki kemurnian metana yang tinggi dan dapat menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

Ada banyak cara untuk memurnikan biogas dari pengotor-pengotornya. Salah satu cara untuk memurnikan biogas yaitu dengan adsorpsi menggunakan adsorben zeolit. Adsorben zeolit menyerap spesies gas yang tidak diinginkan seperti karbondioksida secara kuantitatif akan dihilangkan sehingga didapat biogas dengan kandungan metana yang tinggi. Dengan tingginya kadar metana didalam biogas maka semakin tinggi pula kualitas biogas.

Komponen Biogas

Menurut Wellinger and Lindenberg (2000), komposisi biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Namun demikian, komposisi utama dari biogas adalah gas metana (CH₄) dan gas karbon dioksida (CO₂) dengan sedikit hidrogen sulfida (H₂S). sedangkan kandungan lainnya yang ditemukan dalam kisaran konsentrasi kecil (*trace element*) yaitu senyawa sulfur organik, gas hidrogen (H₂), senyawa hidrokarbon terhalogenasi (*Halogenated hydrocarbons*), gas nitrogen (N₂), gas karbon monoksida (CO) dan gas oksigen (O₂). Komposisi utama dalam biogas ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Biogas

No	Komponen	Satuan	Konsentrasi
1	Metana (CH ₄)	%vol	50 -70
2	Karbon	%vol	25 – 45
3	Dioksida	%vol	2 – 7
4	(CO ₂)	%vol	<2
5	Air (H ₂ O)	%vol	<1
6	Nitrogen (N ₂)	%vol	<2
7	Hidrogen (H ₂)	Ppm	20 -20000
	Oksigen (O ₂)		
	Hidrogen		
	Sulfida (H ₂ S)		

Sumber: Kaltschmitt & Hartmann (2001) dalam Hambali dkk (2007)

Adsorpsi

Adsorpsi diartikan sebagai proses pemisahan dimana komponen tertentu yang terdapat pada suatu fase fluida berpindah atau diserap oleh permukaan zat padat (adsorben). Peristiwa adsorpsi ini terjadi karena adanya gaya tarik molekul-molekul pada permukaan adsorben padat. Umumnya partikel-partikel kecil zat penyerap ditempatkan didalam suatu ruang tetap, kemudian fluida dikontakkan melalui hamparan itu sampai adsorben padat tersebut mendekati jenuh dan pemisahan yang dikehendaki tidak dapat dilakukan lagi. Aliran itu lalu dipindahkan ke hamparan kedua sampai adsorbat telah jenuh dan dapat diganti atau diregenerasi.

Kebanyakan zat adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori yang sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar. Pemisahan terjadi

karena perbedaan molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan yang lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Dalam kebanyakan hal, komponen yang diadsorpsi atau adsorbat melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi terhadap komponen yang lain. Regenerasi adsorben dapat dilaksanakan untuk mendapatkan adsorbat dalam bentuk terkonsentrasi atau hampir murni (McCabe, 1999).

Zeolit

Banyak ilmuwan mendefinisikan pengertian dari zeolit. Menurut J.V Smith, seorang ilmuwan berkebangsaan Amerika mendefinisikan zeolit sebagai suatu material kristal alumino silikat yang memiliki rongga dan memiliki struktur kerangka tiga dimensi serta mempunyai saluran yang mengandung kation Na (natrium), K (kalium), Mg (magnesium), dan Ca (kalsium), serta molekul air. Sedangkan menurut International Zeolite Association (IZA) mengemukakan bahwa sistem penamaan struktur kerangka zeolit berdasarkan unit primer atau primary building unit yang kemudian bertransformasi membentuk secondary building unit yang lebih kompleks, unit sub sekunder, dan unit periodik.

Pada umumnya zeolit alam ditemukan dalam bentuk bongkahan batuan atau serpihan yang lebih kecil yang berada di permukaan maupun di kedalaman tanah sehingga mineral yang ada di dalam tanah akan bercampur dengan mineral zeolit. Meskipun demikian zeolit alam tetap mempunyai potensi ekonomi yang besar. Oleh karena itu, untuk mendapatkan zeolit alam yang memiliki kualitas baik diperlukan beberapa perlakuan khusus. Misalnya untuk kebutuhan penyerapan (adsorpsi) yang lebih besar, dilakukan pengecilan atau penghalusan, pencucian yang dilanjutkan dengan pengaktifasian zeolit.

Semen Putih

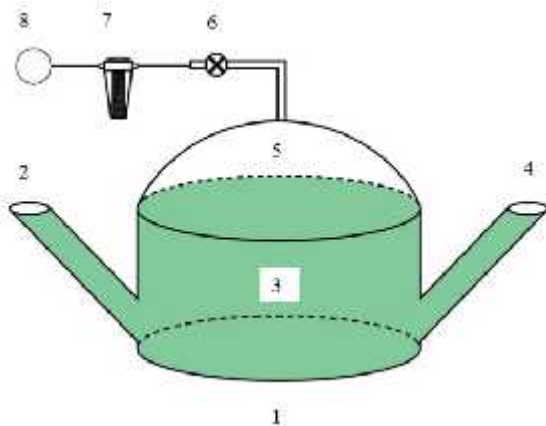
Semen putih adalah semen hidrolis berwarna putih yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (klinker) semen putih yang memiliki komposisi utama terdiri atas kalsium silikat digiling bersama-sama dengan bahan tambahan yang biasanya berupa satu atau lebih kristal kalsium sulfat. Semen Portland putih ini dapat digunakan untuk semua tujuan penggunaan semen umumnya di dalam pembuatan adukan semen yang tidak memerlukan persyaratan khusus, kecuali warna putihnya (SNI 15-0129-2004: Semen Portland putih).

Semen Portland putih atau White Portland Cement (WPC) merupakan jenis semen yang memiliki mutu tinggi. Semen Portland putih dibuat dari bahan-bahan baku yang dipilih khusus dimana memiliki kandungan atau komposisi senyawa besi oksida dan magnesium oksida yang rendah dimana

bahan tersebut merupakan bahan penyebab semen berwarna abu-abu jika kadarnya tinggi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penulis melakukan proses pemurnian biogas dengan menggunakan adsorben yang terbuat dari campuran antara zeolit alam dan semen putih sebagai perekat. Komposisi yang digunakan oleh penulis antara zeolit dan semen putih adalah 40:60, 50:50, 60:40. Sebelum dicampur, zeolit dihaluskan terlebih dahulu dari yang berukuran sangat besar hingga halus dengan menggunakan crusher dan ball mill. Selanjutnya zeolit yang telah halus disaring dengan menggunakan saringan 30 mesh. Setelah didapat zeolit dengan ukuran partikel 30 mesh selanjutnya zeolit diaktivasi dengan menggunakan larutan HCl dengan konsentrasi sebesar 32%. Zeolit yang telah kering kemudian dicampurkan dengan semen putih berdasarkan perbandingan yang telah ditetapkan. Setelah dicetak menyerupai tabung adsorben yang telah siap dipakai kemudian dimasukkan kedalam housing membran yang telah di modifikasi. Berikut gambar dari rangkaian alat purifikasi biogas dengan menggunakan adsorben campuran zeolit alam dan semen putih sebagai perekat. Purifikasi biogas yang dilakukan oleh peneliti dilakukan selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit untuk masing-masing



adsorben. Pada gambar 1 menunjukkan pengambilan biogas diambil di biodegester yang terletak di desa Suka Mulya, kabupaten Ogan Ilir, Indralaya, Sumatera Selatan. Gas dialirkan dan dibuka pada valve nomor 6 untuk dialirkan kedalam housing yang berisi adsorben (nomor 7) selama kurun waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Setelah dipurifikasi, gas hasil purifikasi ditampung kedalam sebuah balon (nomor 8). Kemudian balon ini nantinya akan dianalisa kandungan gas nya dengan menggunakan *gas chromatograph* yang ada di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang.

Gambar 1. Rangkaian alat purifikasi biogas

Keterangan :

- 1) Digester
- 2) Inlet kotoran sapi + air

- 3) Slurry
- 4) Outlet Slurry
- 5) Produk Biogas
- 6) Gas Valve
- 7) Housing + Adsorben
- 8) Tempat penampungan sampel gas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gas metana merupakan gas yang sangat banyak tersedia di alam. Gas ini merupakan gas penyokong utama dalam perusak lapisan ozon saat ini. Banyak khalayak umum yang tidak mengetahui manfaat dari gas ini, padahal kalau dilihat lebih lanjut lagi gas metana dapat kita gunakan sebagai gas alternatif pengganti sumber bahan bakar fosil. Gas metana saat ini telah banyak digunakan terutama dalam bidang industri pabrik besar di-Indonesia maupun di dunia. Selain mudah didapat, gas alam ini dapat digunakan dalam proses pembangkit listrik dan pengganti gas LPG sebagai gas alternatif.

Gas metana dapat didapat dengan berbagai cara, salah satu diantaranya adalah dengan cara melakukan penyimpanan hasil pembusukan sisa kotoran hewan maupun tanaman yang telah membusuk. Gas metana yang terdapat didalam biogas ini tidak sepenuhnya murni metana melainkan masih terdapat banyak *impurities* yang masih perlu untuk dihilangkan atau dikurangi. *Impurities* yang terdapat didalam biogas ini dapat kita kurangi dengan berbagai macam metode, salah satunya yang dilakukan oleh peneliti adalah dengan menggunakan adsorben yang terbuat dari campuran zeolit alam dengan semen putih sebagai perekat nya.

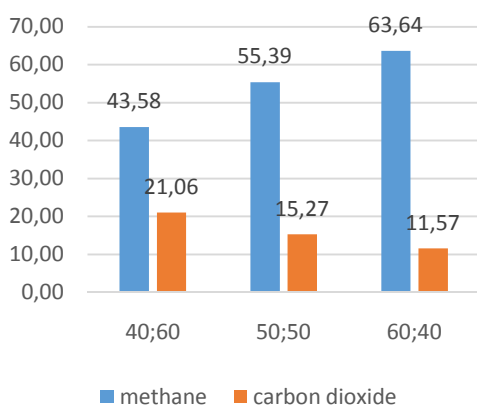
Penggunaan adsorben yang terbuat dari zeolit disini bertujuan untuk menyerap *impurities* dalam biogas yaitu berupa gas CO_2 . Gas karbon dioksida ini merupakan *impurities* yang dapat menghambat proses pembakaran saat biogas digunakan sebagai gas alternatif. Selain itu zeolit merupakan komponen alam yang berlimpah dialam, tidak ada salahnya jika kita memanfaatkan zeolit ini sebagai adsorben dalam menyerap kandungan CO_2 yang terdapat didalam biogas. Proses purifikasi ini bertujuan untuk menghilangkan *impurities* didalam biogas dan meningkatkan persentase kandungan gas metana didalam nya.

Adsorben yang digunakan terbuat dari campuran zeolit dan semen putih dengan perbandingan tertentu. Sebelum dibuat adsorben zeolit terlebih dahulu dihaluskan dengan kadar kehalusan sebesar 30 *mesh*. Hal ini bertujuan untuk memperluas luas permukaan adsorben agar dapat menyerap gas CO_2 lebih banyak saat digunakan dalam purifikasi. Zeolit yang telah halus kemudian di aktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan HCl atau asam kuat lainnya dengan tingkat konsentrasi sebesar 16%. Pengaktivasi zeolit dengan asam kuat ini bertujuan untuk membuka dan membersihkan pori-pori zeolit agar terbebas

dari kotoran yang dapat mengganggu dalam proses purifikasi nantinya.

Semen putih digunakan oleh peneliti untuk membentuk adsorben zeolit agar menyerupai seperti tabung membran. Hal ini bertujuan untuk memudahkan adsorben untuk digunakan didalam proses purifikasi nanti. Dalam penelitian ini peneliti mendapatkan gas metana dari hasil pembusukan kotoran hewan sapi yang disimpan didalam *biodegester* yang terletak di desa Suka Mulya, kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan. Gas metana yang didapatkan dari proses fermentasi ini kemudian digunakan untuk melakukan penelitian yang dilakukan oleh peneliti selama kurang lebih satu tahun.

Pengaruh komposisi campuran antara Zeolit Alam dengan Semen Putih sebagai adsorben



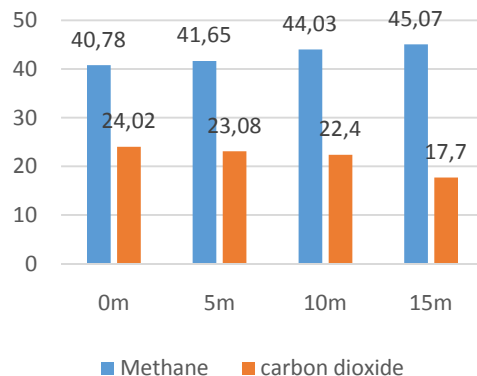
Grafik 1. Persentase rata-rata gas pada masing-masing adsorben

Dalam penelitian ini tujuan utama peneliti adalah untuk mendapatkan kadar persentase gas metana yang lebih besar dengan cara purifikasi biogas tersebut menggunakan adsorben campuran antara zeolit dengan semen putih. Komposisi adsorben yang dipakai oleh peneliti ada 3 buah, yaitu jumlah antara zeolit alam dan semen putih dengan perbandingan 40:50, 50:50, 60:40. Dari data pada grafik diatas jelas terlihat bahwa semakin besar kadar zeolit didalam adsorben dapat meningkatkan persentase CH_4 dan menyerap banyak pengotor CO_2 yang terdapat didalam biogas. Hal tersebut terjadi karena zeolit berperan penting dalam proses purifikasi biogas, zeolit merupakan unsur alam yang dapat menyerap CO_2 sehingga semakin banyak zeolit dalam proses purifikasi maka gas CO_2 pun akan semakin banyak terserap juga. CO_2 yang telah terserap didalam adsorben menjadikan biogas lebih pure sehingga meningkatkan persentase CH_4 didalam nya. Sebagai contoh perbandingan rata-rata persentase CO_2 yang terserap dari adsorben 40:60 adalah sebesar 21,06 %Mol, untuk adsorben 50:50 sebesar 15,27 %Mol, dan untuk adsorben 60:40 sebesar 11,57 %Mol. Dengan penyerapan CO_2 yang terjadi

maka persentase kadar CH_4 didalam biogas pun meningkat. Hal ini dapat dilihat dari rata-rata gas CH_4 pada masing-masing campuran, adsorben 40:60 adalah sebesar 43,58 %Mol, untuk adsorben 50:50 sebesar 55,39 %Mol, dan untuk adsorben 60:40 sebesar 63,64 %Mol.

Lama waktu kontak biogas terhadap adsorben dalam proses purifikasi

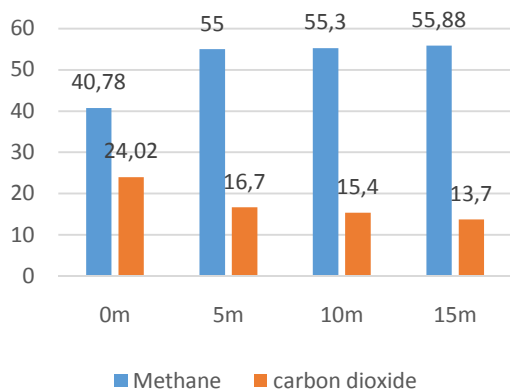
Proses purifikasi merupakan proses penyerapan pengotor-pengotor didalam suatu senyawa sehingga menjadikannya lebih bersih/*pure* terhadap pengotor-pengotor yang dapat mengganggu suatu proses. Dalam hal ini biogas merupakan gas alternatif pengganti bahan bakar fosil, komponen terbesar didalam biogas itu sendiri adalah CH_4 , kandungan CH_4 ini sangatlah dibutuhkan dalam proses penggunaan sumber bahan bakar alternatif. Namun tidak semua kandungan didalam biogas itu adalah CH_4 , masih banyak pengotor-pengotor gas lain yang dapat mengganggu proses pembakaran pada saat digunakan nanti. Dalam hal ini peneliti melakukan penelitian dengan cara mengurangi kadar pengotor CO_2 tersebut guna untuk meningkatkan persentase CH_4 didalam biogas.



Grafik 2. Pengaruh waktu terhadap penyerapan gas pada adsorben 40:60

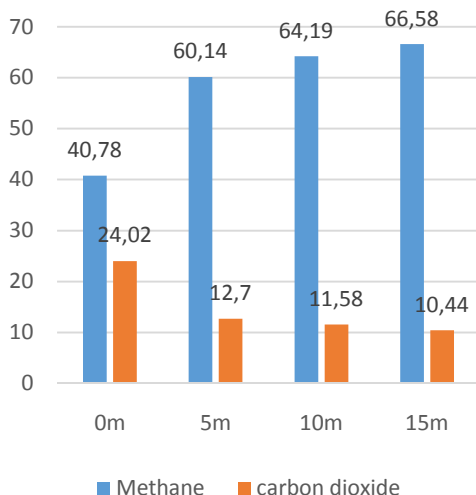
Dari grafik 4.2 diatas dilihat bahwa selain pengaruh campuran antara zeolit dan semen putih berpengaruh terhadap penyerapan gas CO_2 juga dilihat lama kontak antara gas dengan adsorben terhadap waktu. Adsorben dengan perbandingan 40:60 pada waktu 5 menit pertama sebesar 24,02 %Mol, 10 menit kemudian kadar CO_2 yang terserap sebesar 23,08 %Mol, dan 15 menit sebesar 17,7 %Mol.

Penyerapan CO_2 mengakibatkan meningkatnya persentase CH_4 sehingga pada adsorben dengan perbandingan 40:60 pada waktu 5 menit pertama sebesar 40,78%Mol, 10 menit kemudian sebesar 41,65%Mol, dan 15 menit sebesar 45,07%Mol. Semakin lama kontak gas dengan adsorben maka semakin banyak CO_2 yang terserap menjadikannya lebih banyak mengandung CH_4 yang menjadi lebih tinggi.



Grafik 3 Pengaruh waktu terhadap penyerapan gas pada adsorben 50:50

Di grafik 4.2 disamping adsorben dengan perbandingan 50:50 pada waktu 5 menit pertama sebesar 16,7% Mol, 10 menit kemudian kadar CO₂ yang terserap sebesar 15,4 % Mol, dan 15 menit sebesar 13,7 % Mol. Sedangkan pada kadar CH₄ di adsorben dengan perbandingan 50:50 pada waktu 5 menit pertama sebesar 55,00% Mol, 10 menit kemudian sebesar 55,3% Mol, dan 15 menit sebesar 55,88 % Mol.



Grafik 4 Pengaruh waktu terhadap penyerapan gas pada adsorben 60:40

Dan yang terakhir adsorben dengan perbandingan 60:40 pada waktu 5 menit pertama sebesar 12,7 % Mol, 10 menit kemudian kadar CO₂ yang terserap sebesar 11,58 % Mol, dan 15 menit sebesar 10,44 % Mol. Penurunan kadar CO₂ disini jelas terlihat bahwa semakin lama biogas kontak dengan adsorben maka penyerapan CO₂ pun semakin banyak diserapnya, penyerapan CO₂ ini sangatlah berpengaruh terhadap persentase kadar CH₄ yang dihasilkan. Dengan semakin lama kontak biogas terhadap adsorben tersebut maka pengotor gas CO₂ didalamnya semakin sedikit sehingga meningkatkan kadar persentase kandungan CH₄. Dalam hal ini persentase CH₄ meningkat seiring

bertambahnya waktu kontak biogas terhadap adsorben. Dan yang terakhir adsorben dengan perbandingan 60:40 pada waktu 5 menit pertama sebesar 60,14 % Mol, 10 menit kemudian sebesar 64,19% Mol, dan 15 menit sebesar 66,58% Mol.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- 1) Semakin besar jumlah zeolit didalam campuran adsorben terhadap semen putih dapat meningkatkan penyerapan CO₂ dan meningkatkan persentase kadar CH₄ sehingga komposisi terbaik adsorben yang dapat digunakan adalah adsorben dengan perbandingan 60:40>50:50>40:60
- 2) Rata-rata persentase CO₂ yang terserap dari adsorben 40:60 adalah sebesar 21,06 % Mol, untuk adsorben 50:50 sebesar 15,27 % Mol, dan untuk adsorben 60:40 sebesar 11,57 % Mol dan rata-rata persentase gas CH₄ pada masing-masing campuran, adsorben 40:60 adalah sebesar 43,58 % Mol, untuk adsorben 50:50 sebesar 55,39 % Mol, dan untuk adsorben 60:40 sebesar 63,64 % Mol.
- 3) Semakin lama kontak biogas terhadap adsorben maka pengotor gas CO₂ didalamnya semakin sedikit sehingga meningkatkan kadar persentase kandungan CH₄.
- 4) Persentase CH₄ pada adsorben dengan perbandingan 40:60 pada waktu 5 menit pertama sebesar 41,65% Mol, 10 menit kemudian sebesar 44,03% Mol, dan 15 menit sebesar 45,07% Mol, adsorben dengan perbandingan 50:50 pada waktu 5 menit pertama sebesar 55,00% Mol, 10 menit kemudian sebesar 55,30% Mol, dan 15 menit sebesar 55,88% Mol, dan yang terakhir adsorben dengan perbandingan 60:40 pada waktu 5 menit pertama sebesar 60,14% Mol, 10 menit kemudian sebesar 64,19% Mol, dan 15 menit sebesar 66,58% Mol.

Saran

Dalam penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan peninjauan ulang lokasi tempat mengambil biogas karena tergolong sangat jauh dari lokasi analisa GC sehingga menyulitkan peneliti untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T and Tauseef S.M. 2012. Bogas Energy. India : Springer
- Akbar, M. Ali. 2010. Pembuatan Membran Mikrofilter Zeolit Alam dengan Penambahan Semen Portland Putih. Skripsi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Hambali, Eliza., dkk, 2007. Teknologi Bioenergi. Agromedia : Jakarta.
- Hamidi, Nurkholis, dkk.2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses

- Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.2, No. 3 Tahun 2011 : 227-231
- McCabe, W.L.1999. *Operasi Teknik Kimia* Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Price,E.C and Cheremisinoff,P.N.1981.*Biogas Production and Utilization*.Ann Arbor Science Publishers, Inc .United States of America
- Reynold, T.D.1981. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering*. University Wadsworth Inc. A and M Texas.
- Shannon, R. 2000. *Biogas conference proceedings*. [online] <http://www.rosneath.com.all/ipc6/ch08/shannon2/>. Diakses pada 24 Maret 2015.
- Sugiarto, dkk. 2013. “Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit”. *Jurnal RekayasaMesin* Vol.4, No.1 Tahun 2013 1-10
- Widodo, Teguh Wikan.2004. “Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia Conference Proceeding”. *International Seminar On Biogas Technology for proverty Reduction and Sustainable Development*. Beijing, Oktober 17-20.
- Yuliusman, dkk.2010. “Preparasi Zeolit Alam Lampung dengan Larutan HF, HCl dan Kalsinasi untuk Adsorpsi Gas CO”. *Prosiding Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*. ISSN : 14114-4216.