



Adsorpsi gas karbon dioksida dalam biogas dengan menggunakan endapan batu kapur

Adsorption of carbon dioxide (CO₂) in biogas using Ca(OH)₂

R. Sutanto*, A. Mulyanto, M. Wirawan, I.B. Alit, N. Nurchayati

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit No.62 Mataram NTB

*Email : r.sutanto@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 12 February 2019

Accepted 8 March 2019

Available online 1 July 2019

Keywords:

Biogas

Adsorption

carbon dioxide

Calcium hydroxide



With the depleting reserves of energy sources and fuel shortages that occur in Indonesia today, it is needed a cheap alternative energy sources and environmentally friendly, one of which is biogas. In this study biogas is generated from horse manure. The fermentation of horse manure can produce biogas with the largest component of the CH₄ (49.5%) and CO₂ (49.7%). The use of biogas as a fuel is still in the household scale and has not been used optimally. This is due to the biogas still containing high levels of CO₂ so that it has low value of heat is produced. This research reduces the CO₂ levels by using the Ca(OH)₂ or limestone sedimentary, and then react with the CO₂ to form CaCO₃ and H₂O. The variables studied are the influence of the flow rate of the biogas that CO₂ absorbed and CH₄. CO₂ absorption made by passing the biogas with a variety of flow rates in the Ca(OH)₂ at a certain concentration. Gas and Ca(OH)₂ contact each other and the chemical reaction occurs. Every 2 minute interval of gas coming out of the absorber is detected by a biogas tester for analysis of absorbed CO₂ and CH₄ produced. The research results show that the average CO₂ can be absorbed at all the variations of biogas flow rate (5 liter/min. 10 liter/min and 15 liter/min) produced CH₄ at the biogas flow rate of 10 liter/min is 91%, then at the flow rate of 5 liter/min is 76.2% and at the flow rate of 15 liter/min is 72%.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 9, No. 2, Juli 2019, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Semakin menipisnya cadangan minyak bumi serta harga minyak mentah dunia yang semakin tinggi, maka penemuan dan pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan perlu segera dilakukan. Satu diantara energi alternatif ramah lingkungan yang saat ini sedang dalam pengembangan adalah energi yang berasal dari bahan-bahan organik, hal ini dimungkinkan karena bahan tersebut tergolong energi yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan, Sutanto dkk. (2014). Keberadaan bahan tersebut mudah diperoleh dan terjamin keberlanjutannya, dan yang paling penting bahan tersebut ramah terhadap lingkungan, Sutanto dkk. (2014). Hal inilah yang menjadi pertimbangan utama dimana bahan organik dipakai sebagai energi masa depan sebagai upaya

mewujudkan teknologi hijau (*green technology*). Biogas adalah satu diantara produk teknologi hijau yang sedang dikembangkan dalam dua dekade terakhir. Hal ini dikarenakan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi memiliki kemampuan dalam menghasilkan gas seperti CH_4 , CO_2 , H_2S , H_2O dan gas lain, Sutanto dkk. (2014). Dalam hal ini tentunya yang dimanfaatkan hanyalah gas metana (CH_4), karena CH_4 memiliki nilai kalor yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai alternatif bahan bakar.

Kotoran kuda untuk saat masih belum dimanfaatkan secara maksimal oleh petani. Hal terlihat dari masih banyaknya kotoran yang menumpuk disebelah kandang bahkan ada sebagian yang dibuang begitu saja ke sungai. Akibatnya banyak persoalan muncul yang disebabkan oleh kotoran ternak seperti sungai menjadi dangkal, merusak pemandangan dan bau yang tidak sedap. Pada saat musim hujan kotoran tersebut akan terbawa oleh air hujan yang mengalir ke daerah yang lebih rendah, sehingga kuman yang ada di kotoran tadi akan menjadi penyebab masuknya bibit penyakit. Untuk mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh limbah kotoran kuda maka alternatif yang bisa ditempuh yakni dengan memanfaatkan kotoran tersebut menjadi biogas. Kotoran kuda menjadi prioritas utama untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas dengan pertimbangan diantaranya mudah didapat, terjamin kontinuitasnya dan dapat mencegah pencemaran lingkungan maupun air tanah. Biogas yang dihasilkan secara langsung dari *digester* belum bisa digunakan secara langsung karena gas yang dihasilkan masih banyak mengandung pengotor yang merugikan diantaranya CO_2 dan H_2S . Gas H_2S bersifat reaktif sehingga jika bersentuhan dengan logam akan menimbulkan korosi. Sedangkan gas CO_2 dalam biogas perlu dimurnikan atau diserap karena gas tersebut dapat menurunkan nilai kalor pembakaran bahan bakar, Sutanto dkk. (2014).

Harasimowicz dkk. (2007) nilai kalor pembakaran gas metana murni pada tekanan 1 atm dan temperatur $15,5^\circ\text{C}$ yaitu 9100 kkal/m^3 (12.740 kkal/kg). Sedangkan nilai kalor pembakaran biogas sekitar $4.800 - 6.900 \text{ kkal/m}^3$ ($6.720 - 9660 \text{ kkal/kg}$). Tingginya kadar CO_2 dalam biogas menyebabkan nilai kalor pembakaran turun menjadi sebesar $4301,63 - 6213,47 \text{ kkal/m}^3$ ($6022,28 - 8698,85 \text{ kkal/kg}$) dari nilai pembakaran CH_4 murni sebesar $9559,18 \text{ kkal/m}^3$ ($13382,85 \text{ kkal/kg}$).

Apriyanti (2012) bahwa pemurnian biogas dari CO_2 dengan menggunakan zeolit. Zeolit zeochem 4A dapat menyerap gas CO_2 sebanyak 18,70%. Proses penyerapan gas CO_2 dalam biogas dipengaruhi oleh jenis, ukuran, partikel, ukuran pori, jumlah zeolit, serta bentuk dan ukuran kolom.

Listyowati dkk. (2012) memanfaatkan zeolit alam untuk memurnikan biogas dari pengotor CO_2 dan H_2S . Prosentase kadar CO_2 dan H_2S yang berhasil disisihkan maksimal sebesar 87,041% dan 64,977%. Akibat pemurnian ini maka kandungan CH_4 dalam biogas meningkat sebesar 37,375% setelah dimurnikan.

Alwathan dkk. (2013) melakukan pemurnian biogas dari hasil pengolahan limbah cair rumah sakit dengan menggunakan karbon aktif dalam berbagai ukuran dan waktu pengaliran, dengan hasil terbaik adalah adsorben berukuran 14 mesh dapat menyerap 368,65 mg H_2S dalam waktu 90 menit.

Widyastuti dkk. (2013) memurnikan biogas dari unsur pengotor CO_2 dengan memakai karbon aktif yang berasal dari cangkang sawit, kemudian dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Prosentase peningkatan kadar CH_4 sebesar 7% dan prosentase penurunan kadar CO_2 sebesar 6,1% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, sedangkan karbon aktif komersial meningkatkan kadar CH_4 sebesar 11,5% dan menurunkan kadar CO_2 sebesar 12,9%.

Denny dkk. (2014) melakukan pemurnian biogas dengan menggunakan metode bertingkat dimana zeolit pemurnian pertama dan arang aktif pada pemurnian kedua. Pada penelitian ini difokuskan pada pengamatan adsorben zeolit alam, ukuran zeolit halus dan kasar, dan variasi massa zeolit adalah 50 gram, 100 gram dan 150 gram. Dalam 60 menit, hasil terbaik diperoleh ukuran zeolit yang halus dengan massa 150 gram yakni diperoleh CO_2 turun menjadi 4,07%, namun tekanan turun menjadi 0,65 kPa. Sedangkan untuk ukuran zeolit kasar diperoleh CO_2 sebesar 4,26%, dengan penurunan tekanan 0,84 kPa.

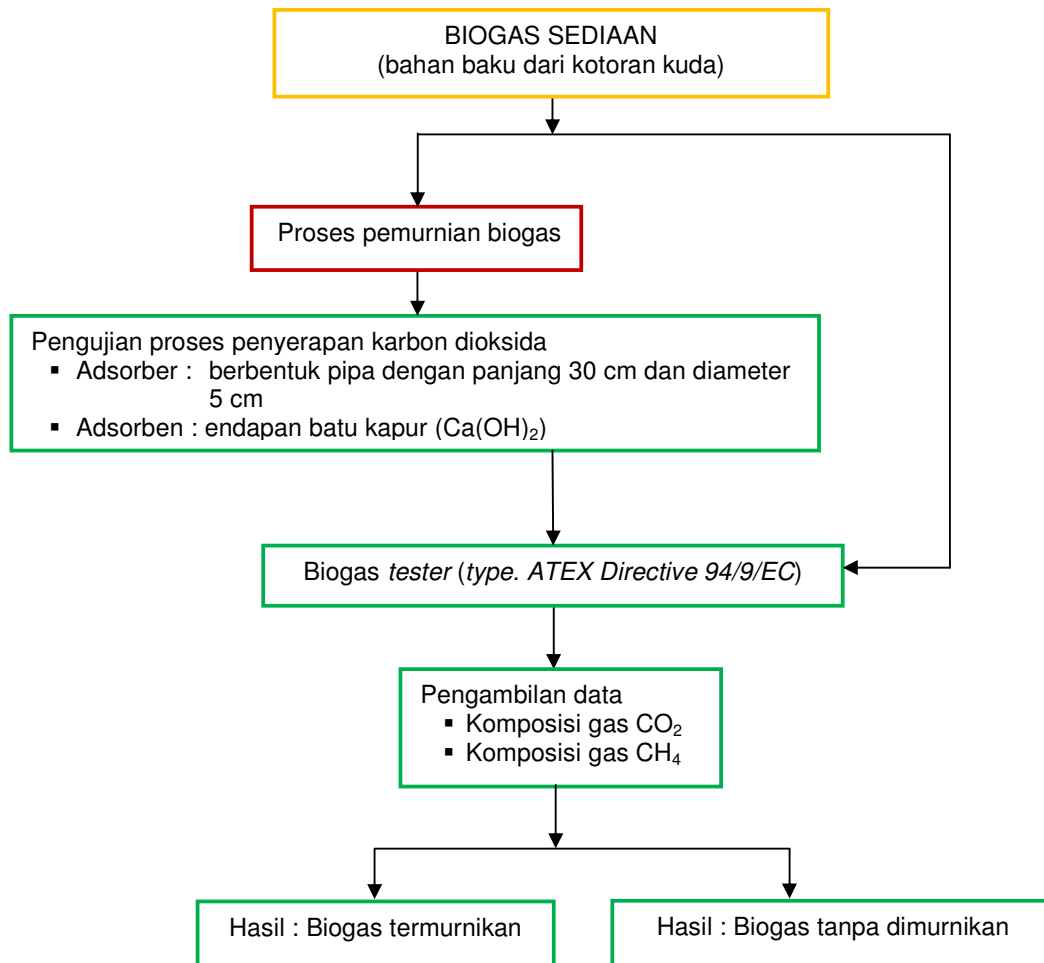
Naqibat dan Triwikantoro, 2014, dalam penelitiannya menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ untuk memurnikan biogas. Pemurnian biogas dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi adsorben yaitu larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0.1, 1.5, dan 2.5 M. hasil uji kromatografi gas menunjukkan gas setelah difilter adalah 100% area, sedangkan sebelum dimurnikan terdapat gas metana sebesar 82.46% area.

Selama ini proses pemurnian biogas banyak menggunakan bahan kimia baik berupa padatan maupun cairan seperti silika, alumina, karbon aktif atau silikat, NaOH , Fe_2O_3 dan masih banyak yang lain. Penggunaan bahan kimia seperti tersebut diatas bagi masyarakat pengguna terutama masyarakat pedesaan masih terasa asing di telinga mereka dan sulit mereka dapatkan. Penggunaan bahan alam yang ramah lingkungan dalam pemurnian biogas belum banyak diteliti. Salah satu bahan alam yang ramah lingkungan adalah batu kapur, disamping keberadaannya yang melimpah juga ditelinga masyarakat pengguna tidak asing lagi. Sebelum digunakan sebagai adsorben, batu

kapur mengalami proses *pretreatment* terlebih dahulu yakni dengan menambahkan air sampai membentuk pasta atau endapan batu kapur. Endapan batu kapur tersebut selanjutnya digunakan sebagai *adsorben* untuk mengikat CO_2 dalam biogas. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kandungan CO_2 dan CH_4 dalam biogas sebelum dimurnikan dan setelah dimurnikan dan untuk mempelajari efektivitas pemakaian endapan batu kapur dalam menurunkan kadar CO_2 .

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai untuk mencapai tujuan penelitian yaitu melakukan beberapa tahap percobaan : tahap pertama adalah menganalisa komposisi awal yang terdapat dalam biogas untuk mengetahui konsentrasi awal gas CO_2 dan konsentrasi awal gas CH_4 yang ada dalam biogas. Tahap kedua adalah melakukan pengujian terhadap kemampuan media *slurry* $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau endapan batu kapur dalam mengikat gas CO_2 dalam unsur biogas sehingga akan menaikkan kualitas biogas.

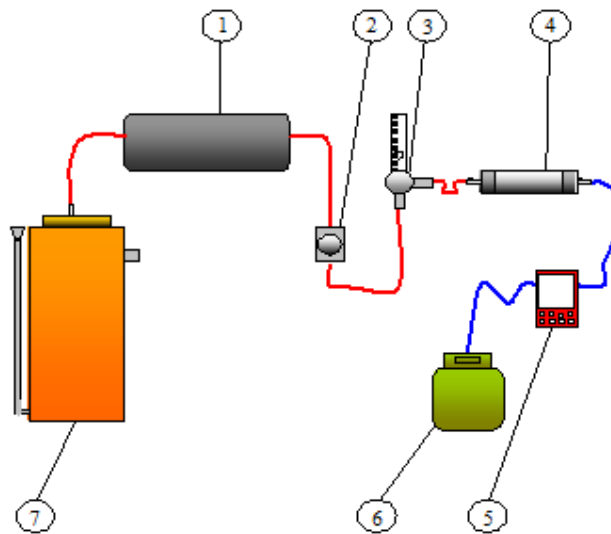


Gambar 1. Skema diagram alir penelitian

Bahan utama yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah kotoran ternak (kuda), selanjutnya campuran kotoran kuda dan air dengan perbandingan 1 : 1 diaduk sampai larut. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam tangki penampung (*digester*). Kemudian semua saluran dan lubang ditutup agar tidak ada udara yang masuk ke dalam sistem. Selanjutnya, campuran kotoran dengan air dibiarkan selama $\pm 3 - 4$ minggu sehingga terbentuk biogas. Selanjutnya untuk *adsorber* digunakan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan memakai perbandingan campuran bahan pemurni yakni 778 gr CaO dengan 250 gr H_2O lalu keduanya dicampur menjadi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebanyak 1028 gr dalam bentuk pasta atau endapan batu kapur.

Variabel yang dipakai dalam melakukan penelitian ini meliputi : variabel tetap : perbandingan campuran kotoran kuda dengan air yakni 1 : 1, temperatur operasi (Top) : pada suhu ruang (30°C). Sedangkan variabel berubah : laju aliran biogas : 5 liter/menit (pemurnian var 1), 10 liter/menit (pemurnian var 2) dan 15 liter/menit (pemurnian var 3), *adsorben* : Ca(OH)₂ atau endapan batu kapur.

Penelitian dilanjutkan dengan proses *adsorpsi* biogas dengan *adsorben* Ca(OH)₂ atau endapan batu kapur, selanjutnya direaksikan dengan CO₂ maka akan terbentuk CaCO₃ dan H₂O. Berikutnya variabel yang akan diamati adalah pengaruh laju aliran biogas terhadap CO₂ yang terserap dan CH₄ yang dihasilkan. *Adsorpsi* CO₂ dilakukan dengan cara mengalirkan biogas melalui berbagai variasi laju aliran ke dalam Ca(OH)₂. Biogas dan Ca(OH)₂ akan saling bersinggungan dan proses reaksi kimia akan berlangsung. Setiap selang waktu 2 menit gas yang keluar adsorber dideteksi dengan biogas *tester* untuk dianalisa CO₂ yang terserap dan CH₄ yang dihasilkan. Adapun rangkaian alat uji pemurnian biogas adalah sebagai berikut,



Gambar 2. Rangkaian alat pengujian pemurnian biogas. 1. tempat pengumpul biogas, 2. pompa vakum, 3. *flowmeter*, 4. *adsorber*, 5. biogas *tester* (type. ATEX Directive 94/9/EC), 6. tabung biogas yang telah termurnikan, 7. *digester*.

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut,

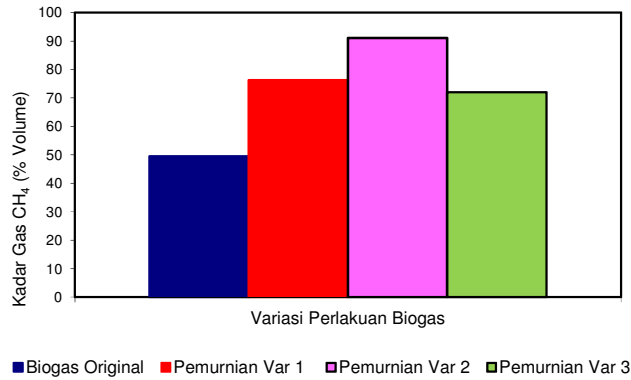
| Nama | Spesifikasi |
|----------------------|---|
| <i>Digester</i> | 900 liter |
| Pompa vakum | ¼ PK |
| <i>Flowmeter</i> | 3 – 15 liter/menit |
| <i>Adsorber</i> | Berbentuk pipa dengan panjang 30 cm dan diameter 5 cm |
| Biogas <i>tester</i> | Type ATEX directive 94/9/EC |
| Tabung LPG | 3 kg |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

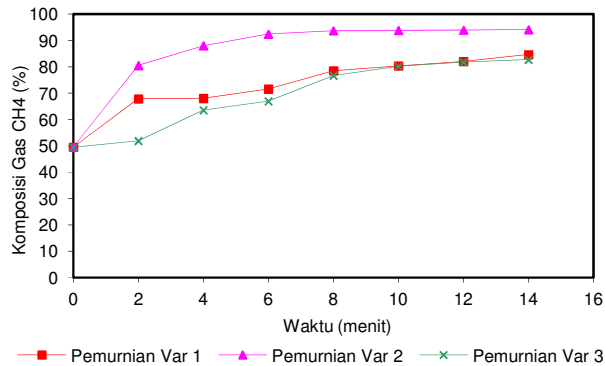
Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada biogas murni kandungan gas metan sebesar 49,5% seperti yang diperlihatkan pada gambar 3. Hal ini terjadi lebih dikarenakan masih banyaknya pengotor yang terkandung dalam biogas diantaranya gas CO₂ dan gas lainnya. Sehingga menyebabkan nilai kalor yang dihasilkan masih rendah dan kualitas nyala api masih belum optimal. Pada penelitian ini penurunan kadar CO₂ dilakukan dengan melewati biogas ke dalam Ca(OH)₂ dengan laju aliran biogas yang divariasikan sehingga terjadi proses *adsorpsi*. Gas CO₂ langsung bereaksi dengan Ca(OH)₂ sedangkan CH₄ tidak. Pada gambar 4 menunjukkan bahwa dengan seiring lamanya waktu

proses *adsorpsi* maka semakin bagus kualitas biogas yang dihasilkan, hal ini ditandai dengan prosentase kadar gas CH₄ semakin meningkat. Keadaan ini bisa terjadi dikarenakan semakin banyak kadar gas CO₂ yang terserap dalam *adsorben*.

Pada proses pemurnian dengan laju aliran biogas yakni 5 liter/menit yang dilewatkan ke dalam Ca(OH)₂, diperoleh data untuk kadar gas metan sebesar 76,2% sedangkan gas CO₂ sudah tidak ada, hal ini menunjukkan bahwa biogas yang diperoleh sudah terbebas dari kadar gas *karbon dioksida*. Pada laju aliran biogas 10 liter/menit didapatkan biogas dengan kadar gas metan sebesar 91% dan gas *karbon dioksida* sudah tidak ada. Sedangkan untuk laju aliran biogas 15 liter/menit menunjukkan bahwa kadar gas metan sebesar 72% (gambar 3) sedangkan kadar gas *karbon dioksida* sudah terserap sempurna oleh Ca(OH)₂.



Gambar 3. Hubungan variasi perlakuan biogas dengan konsentrasi kadar gas CH₄ dalam biogas.



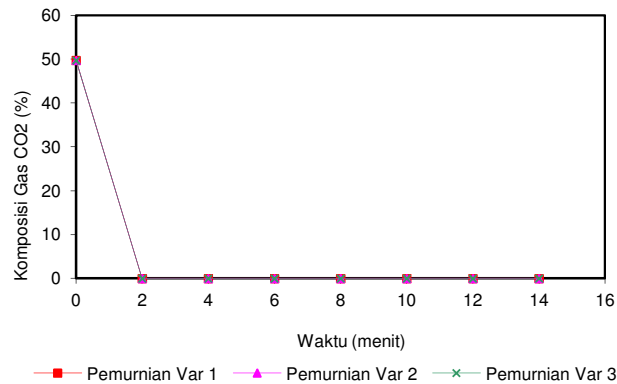
Gambar 4. Hubungan waktu pemurnian dengan konsentrasi kadar gas CH₄ dalam biogas.

Pengaruh laju aliran biogas yang dilewatkan ke dalam *adsorben* memberikan hasil perbedaan yang cukup signifikan. Seperti terlihat pada gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran biogas yang melewati *adsorben* maka kemampuan *adsorben* menjadi kurang optimal, hal ini dikarenakan lamanya biogas bereaksi dengan Ca(OH)₂ menjadi semakin singkat sehingga hanya sebagian kecil CO₂ yang mampu diserap oleh *adsorben*.

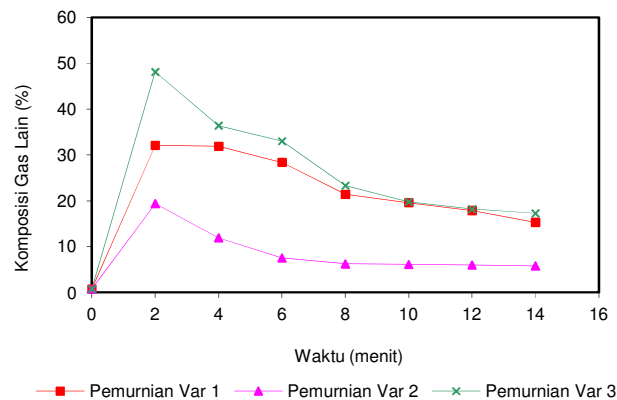
Pada gambar 4 menunjukkan terjadi kenaikan konsentrasi kadar gas metan yang terkandung di dalam biogas seiring dengan lamanya waktu proses pemurnian akan tetapi pada waktu tertentu akan terjadi dimana Ca(OH)₂ sudah mengalami titik jenuh sedangkan kadar gas *karbon dioksida* yang bisa terserap sudah mengalami ambang batas. Pada kondisi tertentu kualitas biogas sudah tidak bagus lagi atau dengan kata lain sudah kembali seperti sedia kala yakni pada kondisi biogas sebelum dimurnikan. Hal ini hampir terjadi pada semua perlakuan baik pada laju aliran biogas 5 liter/menit, 10 liter/menit maupun pada 15 liter/menit.

Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar CO₂ di dalam biogas yang belum dimurnikan masih besar yakni sebesar 49,7% seperti yang diperlihatkan pada gambar 5. Hal ini menyebabkan nilai kalor yang dihasilkan masih rendah sehingga kualitas nyala api biogas masih belum optimal. Untuk menurunkan

kadar CO₂ tersebut dilakukan dengan melewati biogas ke dalam Ca(OH)₂ dengan laju aliran biogas yang divariasikan sehingga terjadi proses *adsorpsi*. Gas CO₂ langsung bereaksi dengan Ca(OH)₂ sedangkan CH₄ tidak. Dengan berkurangnya konsentrasi CO₂ sebagai akibat reaksi dengan Ca(OH)₂, maka perbandingan konsentrasi CH₄ dengan CO₂ menjadi lebih besar untuk konsentrasi CH₄.



Gambar 5. Hubungan waktu pemurnian dengan konsentrasi kadar gas CO₂ dalam biogas



Gambar 6. Hubungan waktu pemurnian dengan konsentrasi kadar gas lain dalam biogas

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi gas metan terbesar didapat pada laju aliran gas 10 liter/menit, hal ini menunjukkan bahwa reaksi antara gas *karbon dioksida* dengan *kalsium hidroksida* terjadi secara sempurna, sehingga gas CO₂ yang terkandung dalam biogas sudah tidak ada serta tidak menimbulkan kenaikan pada konsentrasi gas lain. Sedangkan untuk laju aliran biogas 5 liter/menit reaksi yang terjadi tidak optimal, hal ini dikarenakan pola reaksi yang terjadi hanya sebatas dimana gas itu mengalir dan kecenderungan pergerakan biogas *laminer*. Pada laju aliran biogas 15 liter/menit reaksi kimia yang terjadi semakin tidak optimal, hal ini dikarenakan waktu yang diperlukan untuk bersentuhannya antara molekul-molekul gas *karbon dioksida* dengan Ca(OH)₂ semakin pendek. Meskipun gas CO₂ telah terserap sempurna atau dengan kata lain biogas yang diperoleh sudah tidak mengandung gas *karbon dioksida*, akan tetapi menimbulkan pengaruh pada terbentuknya gas lain yang semakin banyak (gambar 6).

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan Zeolit zeochem 4A dapat mengadsorpsi CO₂ sebanyak 18,70% (Apriyanti, 2012). Sedangkan penggunaan zeolit alam untuk memurnikan biogas dari CO₂, CO₂ yang disisihkan maksimal sebesar 87,041%. Kandungan CH₄ dalam biogas meningkat sebesar 37,375% setelah dimurnikan (Listyowati dkk., 2012). Pemurnian biogas dari CO₂ dengan menggunakan karbon aktif yang berasal dari cangkang sawit yang dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Peningkatan kadar CH₄ sebesar 7% dan penurunan kadar CO₂ sebesar 6,1% dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit, sedangkan karbon aktif komersial meningkatkan kadar CH₄ sebesar 11,5% dan menurunkan kadar CO₂ sebesar 12,9% (Widyastuti dkk., 2013). Pemurnian biogas dengan memanfaatkan adsorben Ca(OH)₂ atau endapan batu kapur menghasilkan Konsentrasi gas metan

(CH₄) terbesar didapat pada laju aliran biogas 10 liter/menit sebesar 91%. Sedangkan konsentrasi gas karbon dioksida terserap sempurna yakni 100% untuk semua variasi laju aliran biogas. Jika dibandingkan dengan adsorben Zeolit zeochem 4A, karbon aktif dari cangkang sawit dan zeolit alam maka penggunaan adsorben endapan batu kapur didapatkan hasil kualitas biogas yang jauh lebih baik baik ditinjau dari kadar CO₂ maupun kadar CH₄.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan biogas yang belum dimurnikan mengandung kadar gas metan sebesar 49,7%. Setelah dilakukan pemurnian dengan menggunakan adsorben endapan batu kapur (Ca(OH)₂) konsentrasi gas metan (CH₄) terbesar didapat pada laju aliran biogas 10 liter/menit sebesar 91%. Sedangkan konsentrasi gas karbon dioksida terserap sempurna yakni 100% untuk semua variasi laju aliran biogas. Jika dibandingkan dengan adsorben Zeolit zeochem 4A, karbon aktif dari cangkang sawit dan zeolit alam maka penggunaan adsorben endapan batu kapur didapatkan hasil kualitas biogas yang jauh lebih baik baik ditinjau dari kadar CO₂ maupun kadar CH₄.

DAFTAR NOTASI

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| <i>Pemurnian var 1</i> | : Laju aliran biogas 5 liter/menit |
| <i>Pemurnian var 2</i> | : Laju aliran biogas 10 liter/menit |
| <i>Pemurnian var 3</i> | : Laju aliran biogas 15 liter/menit |

DAFTAR PUSTAKA

- Alwathan, Mustafa, Thahir R., 2013, Pengurangan kadar H₂S dari biogas limbah cair rumah sakit dengan metode adsorpsi. *Jurnal Konversi*, 2(1), 1-6.
- Apriyanti E., 2012, Adsorpsi CO₂ menggunakan zeolit : aplikasi pada pemurnian biogas. *Jurnal Universitas Pandanaran*, 10(22), 81-91.
- Denny W., Hamidi N., Trimandoko C., 2014, Purifikasi biogas dengan variasi ukuran dan massa zeolit terhadap kandungan CH₄ dan CO₂, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(3), 27-32.
- Harasimowicz M.P., Orluk G., Zakrzewska T., Chmielewski A.G., 2007, Application of polyimide membranes for biogas purification and enrichment, *Journal of Hazardous Materials*, 144, 698-702.
- Listyowati, Anggreini F.P., Wirakartika M., Juliastuti S.R., Hendriane N., 2012, Penurunan kadar CO₂ dan H₂S pada biogas dengan metode adsorpsi menggunakan zeolit alam. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1-5.
- Nadliriyah N., Triwikantoro, 2014, Pemurnian produk biogas dengan metode absorpsi menggunakan larutan Ca(OH)₂, *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 3(2), 107-111.
- Sutanto R., Alit I.B., Nurchayati, 2014, Analisa unjuk kerja motor bakar berbahan bakar biogas termurnikan berbasis absorber Fe₂O₃, *Dinamika Teknik Mesin*, 4(2), 83-87.
- Widyastuti, Apria, Sitorus B., Jayuska A., 2013, Karbon aktif dari limbah cangkang sawit sebagai adsorben gas dalam biogas hasil fermentasi anaerobik sampah organik, *JKK*, 2(1), 30-33.