

Pemurnian Biogas dengan Sistem Pengembunan dan Penyaringan Menggunakan Beberapa Bahan Media

Ginanjari Eko Prayugi*, Sumardi Hadi Sumarlan, Rini Yulianingsih

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

*Penulis Korespondensi, Email : ginanjarep@gmail.com

ABSTRAK

Kandungan CO₂ pada biogas masih cukup besar. Hal ini menyebabkan efisiensi panas yang dihasilkan masih rendah sehingga kualitas nyala api biogas masih belum optimal. Oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian dari kandungan CO₂ dalam biogas, sehingga dalam pemurnian ini diharapkan kadar gas metana dalam biogas dapat meningkat, dan kandungan gas lain seperti, CO₂ dan uap air dapat berkurang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan kandungan CO₂ dan efektivitas penyerapan CO₂ sebelum dimurnikan dan setelah dimurnikan dengan beberapa bahan media pemurnian. Hasil analisis menunjukkan terjadinya penurunan kandungan CO₂ pada biogas. Pada pemurnian dengan air kandungan CO₂ turun sebesar 7,02 %. Untuk perlakuan dengan NaOH kandungan CO₂ turun sebesar 4,79 %. Untuk kandungan CO₂ pada kapur tohor turun menjadi 0 %. Pada Silika gel kandungan CO₂ turun sebesar 4,63 %, sedangkan kandungan CO₂ pada Arang Aktif turun sebesar 10,503 %. Efektivitas penyerapan CO₂ oleh kapur sangat efektif dalam mengurangi kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas dibandingkan bahan media lainnya, sedangkan kandungan CH₄ pada perlakuan kapur tohor yang paling besar. Hal ini dikarenakan kapur tohor dapat mengikat kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas lebih tinggi dibandingkan bahan media lainnya. Pada proses pengembunan, air yang diembunkan paling banyak terdapat pada perlakuan air + es (13°C) sebesar 10,18 ml, sedangkan dengan perlakuan dengan air (21,5°C) sebesar 5,79 ml dan perlakuan tanpa air (25,5°C) sebesar 5,00 ml untuk tiap m³ biogas yang dialirkan. Hal ini dikarenakan semakin kecil suhu, hasil pengembunan yang diperoleh semakin besar.

Kata Kunci : Biogas, CO₂, kapur tohor, NaOH

The Biogas Purification by Condensation and Filtering System using Several Materials

ABSTRACT

CO₂ content in biogas is high enough. This causes the thermal efficiency is still low, so the quality of the biogas flame is not optimum. Therefore, it is necessary for purification of the CO₂ content in biogas. Thus in this purification expected levels of methane in the biogas can be increased, and the content of other gases such as CO₂ and water vapor can be decreased. The purpose of this research was to determine the CO₂ content and effectiveness comparison of CO₂ absorption before and after purification process. The purification processes were done using several materials. The results showed that CO₂ content in biogas decreased. In water purification, CO₂ content decreased by 7.02%. For purification with NaOH, CO₂ content decreased by 4.79%. For purification using lime, CO₂ content decreased to 0%. Purification using silica gel, CO₂ content decreased by 4.63%, while the CO₂ content in the activated carbon by 10,503%. Effectiveness of CO₂ absorption by lime is very effective in reducing the levels of CO₂ contained in the biogas compared to other media materials. Purification with lime can also increase CH₄ with the highest levels of purification compared with other materials. This is because the calcium oxide can bind CO₂ contained in the biogas is higher than the other media materials. In the process of condensation, the condensed water are most numerous in the treatment of water + ice (13°C) by 10.18 ml, whereas the treatment with water (21.5°C) of 5.79 ml and without water treatment

(25.5°C) for 5.00 ml for each m³ of biogas is supplied. This is because the smaller the temperature, condensation results obtained greater.

Key words : Biogas, CO₂, kapur tohor, NaOH

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang sangat cepat, dengan ekspansi bidang industri menyebabkan peningkatan permintaan energi dan penurunan kualitas lingkungan. Meskipun Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak dan gas, namun berkurangnya cadangan minyak, pencabutan subsidi menyebabkan harga minyak naik dan turunnya kualitas lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber-sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan menjadi pilihan.

Salah satu energi alternatif yang dirasa dapat menggantikan bahan bakar fosil adalah biogas. Biogas merupakan energi yang dapat diperbaharui (*renewable energy*), biogas juga ramah lingkungan dan murah. Selain itu, bahan baku pembuatan biogas merupakan bahan yang mudah didapatkan dan umumnya limbah organik, seperti kotoran ternak, sampah, limbah industri makanan, dll. Teknologi biogas adalah transformasi dari limbah organik oleh bakteri metanogenik melalui fermentasi anaerobik untuk menghasilkan bio gas, misalnya metan (CH₄) (Koottatep dkk, 2004). Komposisi biogas yang dihasilkan dari fermentasi tersebut terbesar adalah gas Methan (CH₄) sekitar 54-70% serta gas karbondioksida (CO₂) sekitar 27-45% (Nurhasanah dkk, 2008).

Kandungan CO₂ pada biogas masih cukup besar. Hal ini menyebabkan efisiensi panas yang dihasilkan masih rendah sehingga kualitas nyala api biogas masih belum optimal. Oleh karena itu perlu dilakukan pemurnian dari kandungan CO₂ dalam biogas, sehingga dalam pemurnian ini diharapkan kadar gas metan dalam biogas dapat meningkat, dan kandungan gas lain seperti, CO₂ dan uap air dapat berkurang. Dengan demikian sistem penyalanya menjadi lebih bagus dan lebih mudah. Harapannya letikan api pada pematik kompor gas LPG dapat untuk menyalakan biogas yang sudah dimurnikan.

METODE PENELITIAN

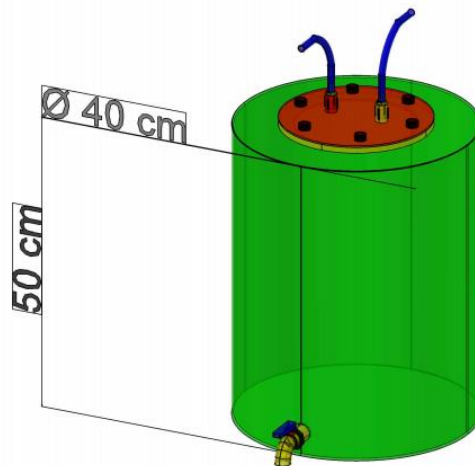
Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat yang digunakan antara lain adalah: kran, tabung *stainless steel*, kantong plastik, selang, bak beton, pipa *heat exchanger*, termometer batang, plastik ukuran 120cm x 100cm, *Star Gas Analyzer* dan gelas ukur 5ml. Bahan yang digunakan adalah : biogas, arang aktif, kapur tohor, silika gel, air dan natrium hidroksida (NaOH) 0,1 M.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen yaitu mengadakan kegiatan percobaan untuk melihat suatu hasil yang akan menegaskan kedudukan hubungan kausal antara variabel-variabel yang diselidiki. Tujuan eksperimen bukan pada pengumpulan dan deskripsi data melainkan pada penemuan faktor-faktor penyebab dan faktor-faktor akibat.

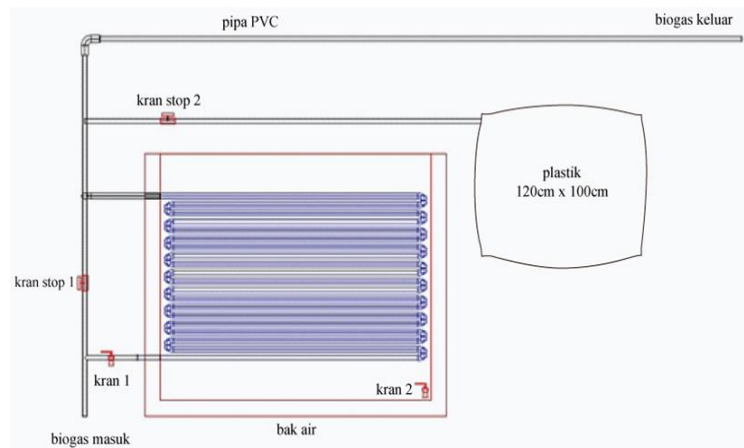
Pada penelitian ini, proses pemurnian dilakukan menggunakan 2 metode. Metode pertama adalah pemurnian biogas dengan menggunakan berbagai bahan media. Pada penelitian dengan metode ini digunakan 5 macam media yaitu : arang aktif, kapur tohor, silika gel, air, dan natrium hidroksida (NaOH). Pemurnian dengan berbagai bahan media ini ditujukan untuk mengurangi kandungan CO₂ yang terkandung dalam biogas. Proses pemurnian dengan menggunakan bahan media ini dilakukan dengan menggunakan tabung pemurnian. Desain tabung pemurnian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Tabung Pemurnian

Tabung pemurnian yang digunakan dalam penelitian ini berbahan dasar *stainless steel* dengan tinggi 50 cm dan diameter 40 cm. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan memasukkan beberapa bahan media ke dalam setiap tabung *stainless steel*. Sebelum dialirkan, diambil sampel biogas untuk dianalisis kadar CO_2 biogas sebelum perlakuan. Kemudian biogas dialirkan dengan cara membuka kran pemasukkan dari digester, biogas masuk ke tabung *stainless steel*. Kran keluaran tabung *stainless steel* dibuka dan gas keluaran dimasukkan plastik untuk dianalisis kandungan CO_2 nya.

Sedangkan metode kedua yang digunakan pada proses pemurnian yaitu dengan cara pengembunan. Proses pemurnian dengan metode pengembunan ini menggunakan 3 perlakuan yaitu pengembunan tanpa air, menggunakan air dan menggunakan air + es. Tujuan proses pemurnian dengan metode pengembunan ini dilakukan untuk memurnikan uap air yang terkandung dalam biogas. Rancangan alat pemurnian dengan metode pengembunan ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Alat Pemurnian dengan Metode Pengembunan.

Proses pengembunan dimulai dari mengalirkan biogas yang keluar dari digester ke dalam sistem pengembunan. Sistem pengembunan bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam biogas. Sistem pengembunan ini terdiri dari pipa yang disambungkan ke bak penampung air yang didalamnya terdapat pipa *heat exchanger* dan kran pengeluaran air hasil pengembunan yang berfungsi untuk mengeluarkan air hasil pengembunan. Biogas akan dialirkan melewati pipa *heat exchanger* sehingga nantinya uap air yang terkandung dalam biogas akan keluar melalui kran pengeluaran berbentuk air. Air yang keluar akan ditampung dalam gelas ukur.

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan 3 kali perlakuan dengan 3 kali ulangan yaitu dengan membedakan suhu dalam bak penampung. Perlakuan yang pertama adalah suhu normal yang ada di dalam bak penampung (tanpa air), perlakuan yang kedua bak penampung yang diberi air, sedangkan perlakuan yang ketiga adalah bak penampung yang diberi air dengan tambahan es. Nantinya dalam penelitian ini akan dilihat berapa volume biogas yang terpakai untuk menampung kandungan air yang mengembun oleh pipa *heat exchanger*. Untuk menampung biogas yang digunakan dalam proses pengembunan menggunakan plastik dengan ukuran 120 cm x 100 cm. Rumus yang digunakan adalah :

$$V = \pi r^2 \times t$$

Keterangan : V : Volume tabung (m^3)
 r : Jari-jari (m)
 t : Tinggi tabung (m)

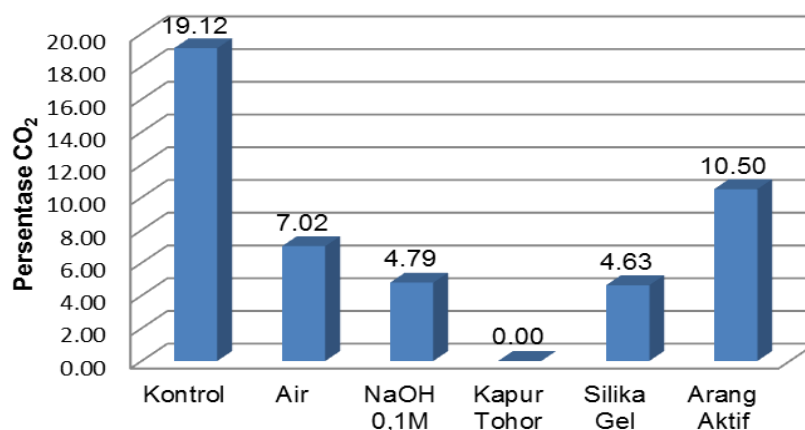
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Karbondioksida (CO_2) pada Pemurnian Biogas

Kandungan karbondioksida dari biogas ini dianalisis dengan menggunakan alat *Gas Analyzer*. Dengan menggunakan alat ini sampel biogas dapat dianalisis secara langsung dengan hasil analisis adalah % volume. Terdapat kelemahan penggunaan sensor pada *gas analyzer* yaitu kemampuan membaca kandungan gas CO_2 maksimal 20%. Sampel biogas hasil penelitian di analisis kandungannya pada hari yang sama, dengan demikian dapat mengurangi kesalahan dalam pengambilan data.

Setelah dilakukan analisis kandungan CO_2 , didapatkan hasil untuk kontrol (tanpa media), kandungan rata-rata % CO_2 adalah 19,12 %. Untuk kandungan CO_2 pada air, kandungan rata-rata % CO_2 adalah 7,02 %. Untuk NaOH kandungan rata-rata % CO_2 adalah 4,79 %. Untuk kandungan rata-rata % CO_2 pada kapur tohor adalah 0 %. Pada silika gel kandungan rata-rata % CO_2 adalah 4,633 %, sedangkan kandungan CO_2 pada arang aktif, kandungan rata-rata % CO_2 adalah 10,503 %. Dari data hasil pengujian kandungan CO_2 pada biogas dapat disajikan grafik hubungan tahap pemurnian dengan persentase CO_2 yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Grafik Hubungan Tahap Pemurnian dengan Persentase CO_2



Gambar 3. Grafik Hubungan Tahap Pemurnian dengan Persentase CO_2

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa kandungan CO_2 pada kapur tohor mencapai 0 % ini dikarenakan pada kapur tohor mempunyai struktur pori-pori yang kecil. Dimana semakin kecil pori-pori, mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Dengan demikian kecepatan adsorpsi bertambah. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

kapur tohor sangat efektif dalam mengurangi kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Khaedar (2012) bahwa kapur tohor dapat mengikat CO₂ dan terjadi reaksi kimia menjadi CaCO₃ (kalsium karbonat).



Pada perlakuan dengan menggunakan NaOH 0,1 M kandungan CO₂ yang terkandung pada biogas yang dihasilkan menurun hingga 4,79 %. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Maarif dan Arif F (2009) bahwa jika biogas yang mengandung gas CO₂ diberi larutan NaOH maka akan terjadi kontak dan terjadi reaksi kimia yang mengikat gas CO₂ yang terkandung pada biogas.

Pada pemurnian dengan menggunakan silika gel didapatkan hasil kandungan CO₂ berkurang yaitu sebesar 4,63 %. Menurut Sulisty (2010) penggunaan silika gel pada pemurnian biogas digunakan untuk pencucian biogas dari H₂O. Tetapi pada penelitian ini silika gel digunakan untuk mengurangi kandungan CO₂ pada biogas. Hal ini menunjukkan bahwa silika gel selain berfungsi untuk mengurangi kandungan H₂O juga berfungsi untuk mengurangi kadar CO₂ pada proses pemurnian biogas.

Dari pengujian dengan menggunakan air didapatkan kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas sebesar 7,02%. Penggunaan air dalam mengurangi kadar CO₂ pada biogas kurang efektif dibandingkan dengan menggunakan kapur tohor, NaOH dan silika gel. Hal ini dikarenakan CO₂ memiliki kelarutan yang kecil dalam air. Sedangkan pada arang aktif rata-rata kandungan CO₂ adalah 10,503 % ini dikarenakan pada arang aktif struktur pori-pori lebih besar sehingga luas permukaan lebih kecil. Dengan demikian kecepatan adsorpsi berkurang.

Efektifitas Penyerapan CO₂

Efektifitas digunakan untuk mengetahui hubungan keberhasilan CO₂ yang terserap oleh media pemurnian (arang aktif, kapur tohor, silika gel, air, dan NaOH) dengan target/tujuan yang ditetapkan. Untuk target/tujuan didapatkan dengan menggunakan asumsi bahwa CO₂ yang ingin dihilangkan adalah sebesar 100%, oleh karena itu target/tujuan sama dengan besarnya kandungan CO₂ awal. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

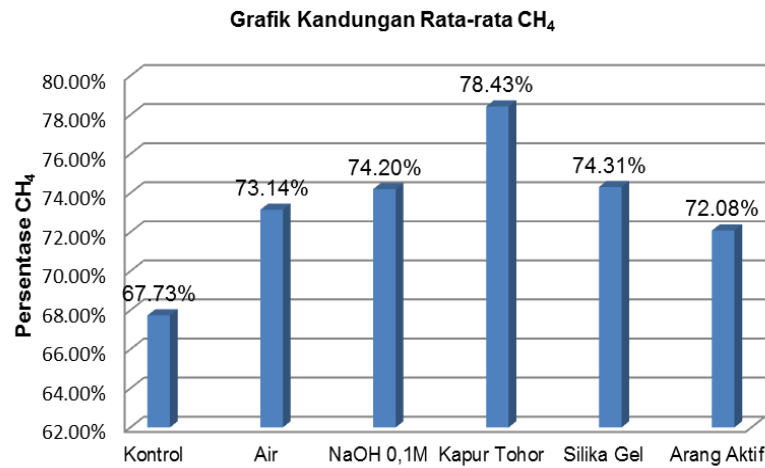
$$\text{Efektifitas} = \frac{\text{CO}_2 \text{ awal} - \text{CO}_2 \text{ akhir}}{\text{CO}_2 \text{ awal}} \times 100\%$$

Dari data perhitungan diketahui bahwa efektifitas penyerapan CO₂ pada pemurnian dengan air adalah sebesar 63,2 %, dengan NaOH 0,1M sebesar 74,9 %, dengan kapur tohor sebesar 100 %, dengan silika gel sebesar 75,8 %, dan dengan arang aktif memiliki efektifitas 45 %. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kapur tohor sangat efektif dalam mengurangi kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas. Hal ini dikarenakan kapur tohor dapat mengikat CO₂ dan terjadi reaksi kimia menjadi CaCO₃ (kalsium karbonat).

Kandungan CH₄

Karena keterbatasan alat untuk menganalisis kandungan CH₄, maka penentuan kandungan CH₄ dihitung dengan asumsi bahwa CH₄ merupakan sisa dari kandungan CO₂, O₂, dan gas lain. Kandungan CO₂ dan O₂ dapat diketahui dengan analisis menggunakan *gas analyzer*, sedangkan gas lain diasumsikan bahwa kandungannya adalah sebesar 2 %.

Dari data perhitungan diketahui bahwa pada kontrol kandungan CH₄ adalah sebesar 67,73 %, pada air kandungan CH₄ sebesar 73,14 %, pada NaOH 0.1M kandungan CH₄ sebesar 74,2 %, pada kapur tohor kandungan CH₄ sebesar 78,43 %, pada silika gel kandungan CH₄ sebesar 74,31 % dan pada arang aktif kandungan CH₄ sebesar 72,077 %. Dari data hasil kadar CH₄ pada biogas dapat disajikan grafik kandungan rata-rata CH₄ yang dapat dilihat pada Gambar 4.



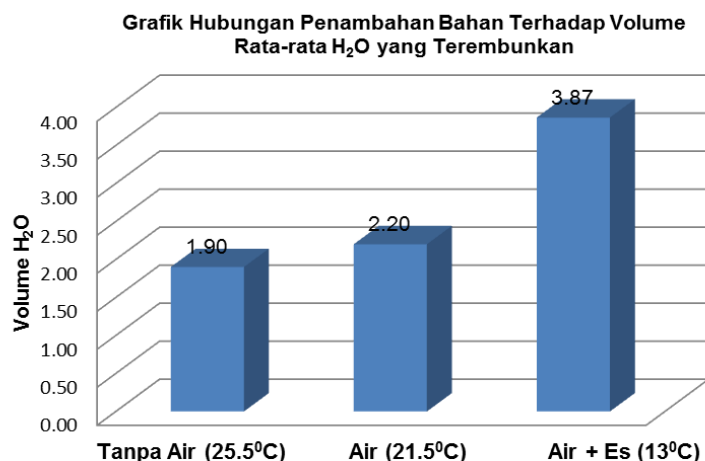
Gambar 4. Grafik Kandungan Rata-rata CH₄

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa kandungan CH₄ kapur tohor yang paling besar. Hal ini di karenakan kapur tohor dapat mengikat kadar CO₂ yang terkandung dalam biogas lebih tinggi dibandingkan bahan media lainnya.

Kandungan Air yang Termurnikan dengan Metode Pengembunan

Proses pengembunan terjadi padapipa *heat exchanger* yang ada dalam bak kemudian di beri perlakuan tanpa air, dengan air, dan penambahan air + es. Dalam analisis hasil pengembunan parameter yang dicari adalah kadar kandungan air yang termurnikan.

Biogas masuk ke pipa *heat exchanger* menuju ke plastik dimana plastik digunakan untuk mengukur volume gas yang digunakan dalam proses pengembunan. Sehingga diperoleh hasil pengembunan air pada biogas yang melalui pipa *heat exchanger*. Ada tiga macam tahapan perlakuan yaitu proses pengembunan tanpa air, dengan air, dan dengan air+es. Setiap perlakuan dilakukan selama ± 60 menit (sampai plastik ukuran 100 cm x 120 cm terisi penuh oleh gas) kemudian diukur volume air yang dimurnikan



Gambar 5. Grafik Hubungan Penambahan Bahan Terhadap Volume Rata-rata H₂O yang Terembunkan

Setelah dilakukan pengembunan pada biogas, didapatkan hasil pengembunan tanpa air, pada ulangan pertama adalah 2 ml dengan suhu 25.5°C, ulangan kedua adalah 1,7 ml dengan suhu 26°C dan pada ulangan ketiga 2 ml dengan suhu 25°C. Untuk pengembunan dengan air, pada ulangan pertama adalah 2,5 ml dengan suhu 21 °C, ulangan kedua 2,1 ml dengan suhu 21,5

$^{\circ}\text{C}$ dan pada ulangan ketiga 2 ml dengan suhu 22°C . Dan untuk pengembunan dengan air + es, pada ulangan pertama dihasilkan 3,9 ml dengan suhu biogas 13°C , ulangan kedua 4.2 ml dengan suhu 12°C , untuk ulangan ketiga 3.5 ml dengan suhu 14°C . Setiap perlakuan dialirkan biogas sebanyak $0,38\text{ m}^3$.

Dari hasil pengembunan didapatkan grafik hubungan penambahan bahan terhadap volume rata-rata H_2O yang terembunkan setiap perlakuan yang dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan grafik diperoleh nilai rata-rata volume air (H_2O) dengan pengembunan tanpa air ($25,5^{\circ}\text{C}$) adalah 1,9 ml, kemudian volume air (H_2O) pada pengembunan dengan penambahan air ($21,5^{\circ}\text{C}$) adalah 2,2 ml dan pada pengembunan dengan penambahan air + es (13°C) adalah 3.87 ml dengan volume biogas yang dialirkan setiap perlakuan sebanyak $0,38\text{ m}^3$. Dapat dilihat adanya perbedaan yang cukup significant antara perlakuan pengembunan yang dilakukan dengan menggunakan air +es dan air. Hal ini dikarenakan suhu air + es lebih kecil dibandingkan dengan air. Hal ini sesuai dengan teori perubahan wujud dari gas ke cair atau yang dikenal dengan istilah pengembunan. Semakin kecil suhu, hasil pengembunan yang diperoleh semakin besar. Hal ini disebabkan uap air yang terkondensasi lebih banyak, sehingga butiran air yang dihasilkan juga banyak.

Dari hasil pengukuran kandungan air pada setiap perlakuan, dapat dilakukan analisis volume air yang terkandung pada setiap meter kubik (m^3) gas yang dikeluarkan, dimana perhitungan dilakukan dengan cara mengukur volume gas yang tertampung pada plastik kemudian dihubungkan dengan volume air yang dimurnikan dari biogas yang tertampung pada plastik. Dari hasil perhitungan didapatkan volume gas yang tertampung pada plastik sebesar $0,38\text{ m}^3$. Dapat disimpulkan bahwa pada proses pengembunan tanpa air setiap 1 m^3 gas yang keluar, air yang dimurnikan sebesar 5,00 ml. Pada pengembunan dengan air setiap 1 m^3 gas yang keluar, air yang dimurnikan sebesar 5,79 ml. Sedangkan pada perlakuan menggunakan air + es setiap 1 m^3 gas yang keluar, air yang dimurnikan sebesar 10,18 ml.

KESIMPULAN

Pada pemurnian biogas, efektivitas penyerapan CO_2 yang paling besar adalah menggunakan kapur tohor sebesar 100%, disusul silika gel sebesar 75,8%, kemudian NaOH 0,1M sebesar 74,9%, selanjutnya air sebesar 63,2% dan arang aktif sebesar 45%. Pada proses pengembunan, air yang diembunkan paling banyak terdapat pada perlakuan air + es (13°C) sebesar 10,18 ml, disusul dengan perlakuan dengan air ($21,5^{\circ}\text{C}$) sebesar 5,79 ml dan perlakuan tanpa air ($25,5^{\circ}\text{C}$) sebesar 5,00 ml untuk tiap m^3 biogas yang dialirkan. Peningkatan pemurnian kandungan CH_4 yang terbesar terjadi pada perlakuan kapur tohor sebesar 78.43 %, disusul perlakuan dengan silika gel sebesar 74.31 %, kemudian NaOH 0,1M sebesar 74.2 %, selanjutnya air sebesar 73,14 % dan arang aktif sebesar 72.077 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Ginting, Ferdinan Delesev. 2008. *Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi Dua Adsorber dengan Menggunakan Metanol 1000 ml sebagai Pengeringan*[skripsi]. Universitas Indonesia. Depok.
- Huseni, Rangwala. 1996. *Absorption of Carbon Dioxide into Aqueous Solutions Using Hollow Fiber Membrane Contactor*. Elsevier. Journal Membrane of Science. 112 (1996). pp. 229-240.
- Khaedar, Riza. 2012. *Penggunaan Pelet Kombinasi Kapur Tohor (CaO) dan Serbuk Gergaji untuk Menangkap Karbon Dioksida (CO₂) pada Biogas* [Skripsi]. Bogor : Program Sarjana, Institut Pertanian Bogor.

- Maarif, Fuad, Januar Arif. F. 2009. *Absorpsi Gas Karbondioksida (CO₂) dalam Biogas dengan Larutan NaOH Secara Kontinyu*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Sulistyo, Agung. 2010. *Analisis Pemanfaatan Sampah Organik di Pasar Induk Kramat Jati sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*[Skripsi]. Jakarta : Universitas Indonesia.