

PENGARUH KOMPOSISI DAN WAKTU FERMENTASI CAMPURAN LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN KOTORAN SAPI TERHADAP KANDUNGAN GAS METHANE PADA PEMBANGKIT BIOGAS

Mohammad Nurhilal¹, Purwiyanto², Galih Mustiko Aji³

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap, Jl Dr. Soetomo No.1 Sidakaya Cilacap
^{2,3}Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap, Jl Dr. Soetomo No.1 Sidakaya Cilacap
Email: ¹najiwaa@yahoo.com, ²purwi_1979@yahoo.com, ³galihma@gmail.com

Abstrak

Abstrak- Biogas merupakan energi alternatif yang dihasilkan dari proses aktivitas anaerobik dari bakteri metana yang didapatkan dengan cara fermentasi. Aktivasi anaerobik ini merupakan urutan proses *mikroorganisme* memecah bahan *biodegradable* tanpa adanya oksigen. Biogas banyak dihasilkan dari kotoran sapi dan limbah industri tahu yang berpotensi memiliki kandungan gas *methane* (CH₄), karbondioksida (CO₂), dan hidrogen sulfida (H₂S). Untuk mengurangi kandungan (CO₂) dan (H₂S) dan menaikkan unsur gas *methane*, maka perlu dilakukan proses purifikasi. Purifikasi dapat dilakukan dengan teknik *absorpsi* menggunakan air, larutan NaOH, dan zeolit/*silica gel*. Tujuan penelitian ini adalah menguji kandungan gas *methane* variasi campuran komposisi kotoran sapi dan limbah cair tahu serta waktu fermentasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan memvariasikan komposisi kotoran sapi dan limbah cair tahu 40%:60%; 50%:50%; dan 60%:40%, serta variasi waktu fermentasi 120, 168, dan 216 jam. Hasil penelitian mendapatkan hasil kandungan gas *methane* tertinggi pada komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair tahu 50:50 pada waktu fermentasi 168 jam yaitu sebesar 2,806%. Kandungan gas *methane* dipengaruhi oleh waktu fermentasi, kondisi pH dalam digester, dan intensitas pengadukan bahan biogas dalam digester.

Kata kunci : Biogas, gas *methane*, anaerobik, fermentasi, Purifikasi

Abstract

Abstract- Biogas is alternative energy produced from the anaerobic activity process of methane bacteria obtained by fermentation. Anaerobic activation is a sequence of microorganism processes breaking down biodegradable materials without oxygen. Biogas is mostly produced from cow dung and tofu industry waste that has the potential to contain methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and hydrogen sulfide (H₂S). To reduce the content of (CO₂) and (H₂S) and to increase the element of methane gas, the purification process is needed to do. Purification can be carried out by absorption techniques using water, NaOH solution, and zeolite/silica gel. The purpose of this study is to examine the methane gas content of variations in the composition of cow dung and tofu liquid waste and the fermentation time. The method used was an experiment by varying the composition of cow dung and tofu liquid waste by 40%: 60%; 50%: 50%; and 60%: 40%, as well as variations in the fermentation time of 120, 168 and 216 hours of fermentation. The results showed that the highest methane gas content in the composition of a mixture of cow dung and tofu liquid waste was 50:50 in 168 hours of fermentation which was equal to 2.806%. The content of methane gas was influenced by the fermentation time, the pH conditions in the digester, and the intensity of stirring the biogas material in the digester.

Keywords: Biogas, methane gas, anaerobic, fermentation, Purification

I. PENDAHULUAN

Kementerian Pertanian (2017) menyebutkan, populasi ternak sapi potong pada tahun 2017 mencapai 16.092.561 ekor dan struktur populasi (anak, muda, dewasa) dapat menghasilkan kotoran segar rata-rata 12 kg/ekor/hari, atau dapat menghasilkan kotoran segar lebih dari 193 juta ton per hari atau setara dengan 9,2 juta liter minyak tanah/ hari. Sedangkan pertumbuhan industri tahu berskala kecil pada tahun 2016 mengalami kenaikan 1,47% (Kemenperin, 2016). Melihat kondisi data dari kedua sektor kegiatan masyarakat ini sudah barang tentu akan meningkatkan bahan baku penghasil biogas sebagai sumber energi alternatif.

Biogas berasal dari bahan – bahan organik yang difermentasikan oleh aktivitas *anaerobik* dari bakteri metana yang didapatkan dengan cara *metanogen* seperti *Methanobacterium sp.* *Metanogen* sendiri adalah sebuah proses yang terakhir pada rantai mikro-organisme yang lebih rendah dekomposisi bahan organik dan kembali produk ke lingkungan. Proses fermentasi pada digester terjadi perombakan anaerobik bahan organik menjadi biogas dan asam organik yang memiliki berat molekul rendah. Umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Bahan organik yang banyak dijumpai di lingkungan masyarakat adalah kotoran sapi dan sisa proses pembuatan tahu serta bahan organik lainnya.

Proses terbentuknya, biogas berlangsung dalam keadaan tertutup. Dari aktivitas *anaerobik* oleh bakteri *metana*, biogas mampu menghasilkan gas-gas seperti CH₄, CO₂, H₂S, dan gas – gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas *metana* (CH₄), karena CH₄ mempunyai nilai kalor yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Dekomposisi *anaerob* tersebut menghasilkan biogas yang terdiri dari methane (55 – 70%), karbon dioksida (30 – 45%), hidrogen disulfid (<1%), dan beberapa kandungan uap air (Ghatak. M. D, and Mahanta. P, 2016).

Unsur CO₂ dan H₂S dalam biogas sangat merugikan bagi peralatan yang terbuat dari logam karena bersifat korosif. Karbon dioksida (CO₂) adalah gas mengkhawatirkan yang mengurangi kepadatan dan mengurangi nilai kalor dari biogas, tetapi tidak beracun dan

korosif seperti H₂S. Unsur ini juga berbahaya bagi lingkungan dan bersifat merusak bagian logam dari mesin, pompa, kompresor, gas tangki penyimpanan, katup dan mengurangi umur proses peralatan (Huertas. J.I., et all, 2011).

Untuk memaksimalkan kandungan gas metana atau meningkatkan nilai kalor dan meminimalisir kandungan gas karbondioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S) adalah melalui proses purifikasi/pemurnian gas dengan teknik *absorpsi* menggunakan air, larutan NaOH, dan *zeolit/silica gel*. Mara (2012) melakukan penelitian pemurnian biogas menggunakan larutan NaOH. Selanjutnya, Hamidi dkk (2011) juga meneliti tentang proses pemurnian biogas dengan bahan zeolit. Shah. D. R, et all (2016) mengkaji proses purifikasi biogas menggunakan *scrubbing* aplikasi untuk bahan bakar mesin. Widhiyanuriyawan, dkk (2014) meneliti proses purifikasi biogas menggunakan zeolit. Kulkarni. M. B., dan Ghanegaonkar. P. M (2019) mengkaji pengurangan hidrogen sulfid dalam biogas menggunakan teknik absorpsi secara kimia.

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan di atas maka dapat dirumuskan masalah penelitian ini : a) kotoran sapi dan limbah cair tahu merupakan bahan penghasil sumber energi yang potensial untuk terus dioptimalkan pemanfaatannya; b) kandungan gas *methane* yang ada dalam biogas dapat ditingkatkan melalui proses purifikasi dengan teknik secara kimia; c) bagaimana dapat menghasilkan kandungan gas *methane* dari bahan kotoran sapi dan limbah cair tahu melalui proses purifikasi.

Tujuan penelitian ini adalah menguji kandungan gas *methane* variasi campuran komposisi kotoran sapi dan limbah cair tahu serta waktu fermentasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan memvariasikan komposisi kotoran sapi dan limbah cair tahu 40%:60%; 50%:50%; dan 60%:40%, serta variasi waktu fermentasi 120, 168, dan 216 jam.

Bahan Biogas

Umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diproduksi menjadi biogas. Di lingkungan kita bahan organik yang paling banyak dijumpai adalah sampah bio (organik), limbah pertanian, kotoran hewan,

urine, limbah produksi makanan seperti sisa proses pembuatan tahu. Bahan-bahan organik yang disebutkan di atas dapat diproses menjadi biogas dan sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pertimbangan paling utama dalam memilih bahan organik untuk biogas dapat ditentukan dari kandungan kadar karbon (C) dan Nitrogen (N) yang ada dalam bahan. Kedua unsur tersebut harus memiliki perbandingan C/N yang seimbang. Jika perbandingan C/N terlalu tinggi dalam artian kandungan unsur C nya lebih tinggi maka proses metabolisme menjadi kurang baik, karbon dalam substrat tidak sepenuhnya dikonversi sehingga tidak dapat dihasilkan gas *methane* yang tinggi. Werner, U (1989) dalam Suyitno, dkk (2010) menjelaskan perbandingan C dan N dalam biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan merugikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8 dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan. Kemudian lebih lanjut dijelaskan bahwa kotoran sapi memiliki rasio perbandingan C/N 10-20. Sedangkan I.J. Dioha et al, 2013 dalam jurnalnya mengatakan, kotoran sapi mempunyai rasio C/N sebesar 24. Untuk itu perlu ditambah bahan lain yang dapat menaikkan atau menurunkan rasio C/N yaitu dengan bahan senyawa tunggal.

Proses pencernaan anaerob dalam digester juga membutuhkan syarat yang lain, selain perbandingan rasio C/N adalah derajat keasaman (pH), temperatur, bahan aktif, dan yang lainnya. Abebe, M. A., (2017) menjelaskan persyaratan proses untuk pasca pencernaan anaerob adalah rasio pencampuran substrat dan co-substrat yang optimal, keberadaan mikro dan zat gizi mikro, rasio C/N, pH, tidak adanya zat penghambat, ketersediaan bahan organik yang dapat terbiodegradasi, alkalinitas dan temperatur. Berdasarkan penjelasan di atas faktor derajat keasaman (pH) merupakan salah satu yang mempercepat proses pencernaan secara anaerob bahan biogas dalam digester. Bakteri alami pengurai bahan organik dapat berkembang dengan baik pada keadaan dan kondisi derajat keasaman antara 6,6 – 7,0. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa untuk produksi biogas yang optimum diperlukan kondisi dengan pH antara 7 – 8,5. Akan tetapi perbedaan tentang kondisi pH yang ideal dalam digester tidak

terlalu menjadi masalah, dikarenakan selama proses fermentasi anaerob kondisi pH dalam digester dapat berada pada angka 7. Fang, C., (2010) menjelaskan sebagian besar bakteri anaerob dapat membentuk metana dalam kisaran pH 5,5 hingga 8,5.

Purifikasi/Pemurnian

Proses purifikasi merupakan proses meminimalkan kandungan yang ada dalam unsur biogas yang dipandang tidak dibutuhkan atau bahkan merugikan ketika biogas digunakan sebagai bahan bakar. Umumnya proses purifikasi pada biogas adalah untuk mengurangi kandungan dalam unsur karbondioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan hidroksida (H₂O).

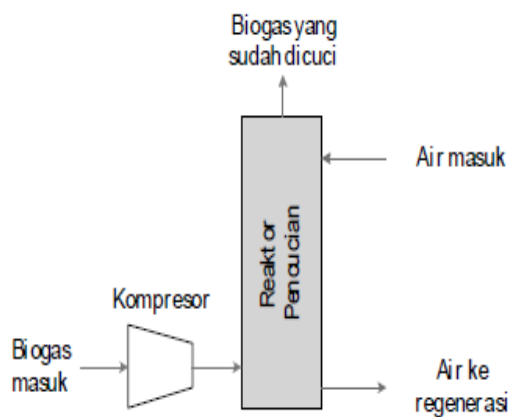
Teknik purifikasi yang tepat pada biogas akan menghasilkan kandungan gas pembakaran yang optimal. Penghapusan karbon dioksida dan hidrogen sulfida dengan menggunakan teknik yang tepat diperlukan untuk meningkatkan kualitas biogas untuk aplikasi yang tepat secara luas. Secara umum teknik pemurnian yang diterapkan dalam peningkatan biogas dapat diklasifikasikan menjadi: penyerapan (fisik / kimia), penyerapan, pemisahan membran dan pemisahan kriogenik (Tippawayong, N., and Thanompongchart, P, 2010).

Teknik purifikasi secara kimia untuk mengurangi kadar gas karbondioksida (CO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S) yang ada dalam biogas dapat meningkatkan kandungan methane dan juga mengurangi sifat korosif terhadap komponen-komponen yang terbuat dari logam. Penghapusan hidrogen sulfida dalam biogas sangat direkomendasikan karena bahaya dari segi kesehatan dan juga pada peralatan kompor, tangki penyimpanan, dan komponen mesin (Shah, D., Nagarseth, H, 2015).

Suyitno, dkk (2010) dalam (Zicari, 2003) menjelaskan pencucian (proses pemurnian) H₂S dari biogas dapat dilakukan secara fisika, kimia, atau biologi. Pemurnian secara fisika misalnya penyerapan dengan air, pemisahan dengan membran atau absorpsi dengan absorben menggunakan absorben karbon aktif. Tujuan dari penghapusan H₂S adalah :

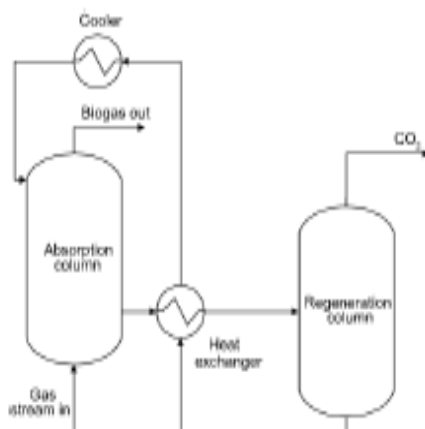
1. Mencegah korosi terutama pada komponen yang terbuat dari material logam

2. Menghindari keracunan H₂S (maksimum yang diperbolehkan di tempat kerja adalah 5 ppm)
3. Mencegah kandungan sulfur dalam biogas yang jika terbakar menjadi SO₂ atau SO₃ yang lebih beracun dari H₂S
4. SO₂ yang terbawa oleh gas buang biogas menyebabkan turunnya titik embun gas dalam cerobong
5. H₂SO₃ yang terbentuk bersifat sangat korosif

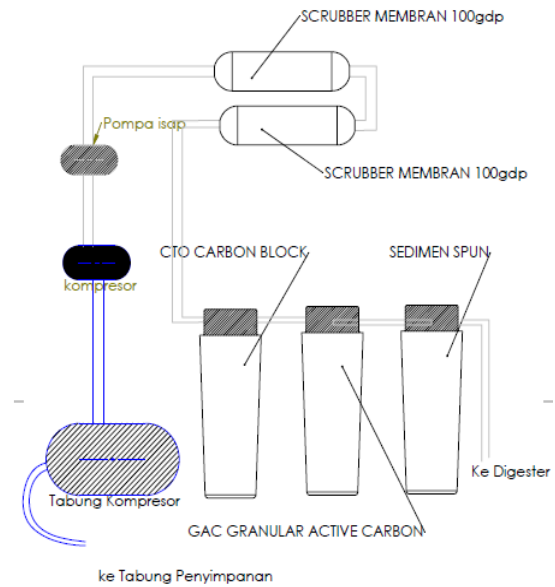


Gambar 1. Teknik pencucian biogas dengan *scubber* air (Suyitno, dkk, 2010).

Penyerap kimia digunakan dalam peningkatan biogas untuk menghilangkan gas kontaminan. Namun kerugian dengan proses penyerapan ini adalah kebutuhan untuk mengatur ulang pelarut yang digunakan untuk aplikasi dalam batch berikutnya (Maile, I., and Muzenda, E, 2014).



Gambar 2. Tipe unit absorpsi kimia (ENVE 737, 2014).



Gambar 3. Desain Rancangan penelitian purifikasi biogas

II. METODOLOGI Rancangan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam rancangan penelitian ini meliputi :

- a) Spesifikasi alat purifikasi hasil rancangan ini menggunakan *Reverse Osmosis (RO) 5 stage*, dan sistem kelistrikan *switch ON, OFF, Emergency*, serta penampung gas *methane* dari tabung kompresor 10 liter.
- a) Proses purifikasi bekerja pada saat switch ON dihidupkan maka kompresor bekerja menghisap biogas dari digester mengalir melalui purifikasi (*reverse osmosis*) yang berisi larutan NaOH dan zeolit kemudian gas methane tertampung dalam tabung penampung.
- b) Pengujian gas *methane* dengan pembandingan sample standar gas methane. Dimana sample biogas di uji satu per satu dari masing-masing variasi komposisi dan waktu fermentasi menggunakan *Chromatography Shimadzu GC 2104*.

Sumber Data

Sumber data penelitian ini adalah biogas yang diproses purifikasi dan selanjutnya di uji kandungan gas *metahane* masing-masing campuran komposisi dan waktu fermentasi.

Teknik Pengumpulan Data

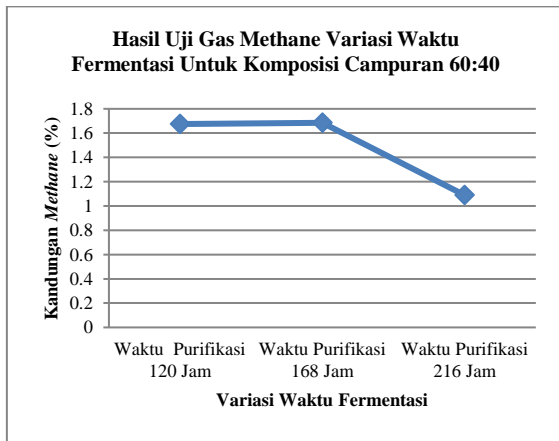
Teknik Pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan data hasil uji laboratorium berupa besar persentase kandungan gas *methane* yang selanjutnya akan di analisis.

Analisis Data

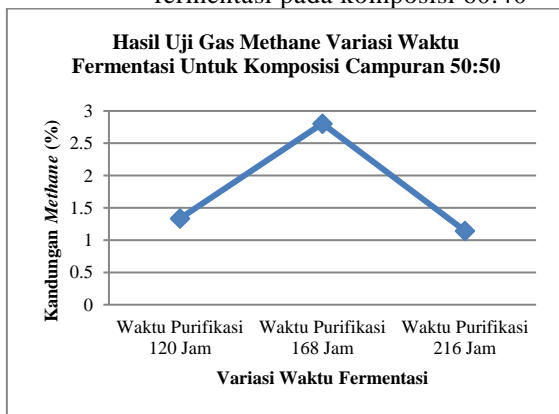
Analisis data penelitian ini berupa data deskriptif hasil pengujian yang nantinya akan diketahui kandungan terbesar dari gas *methane*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

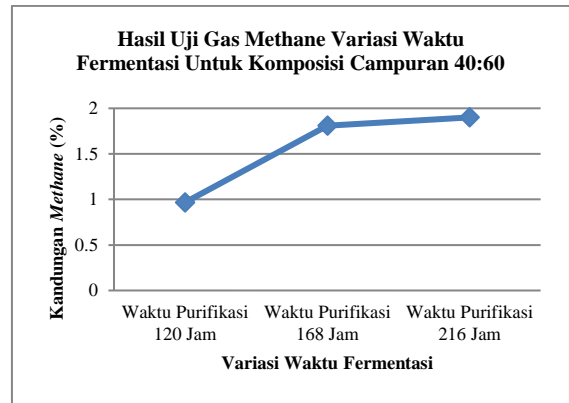
Hasil



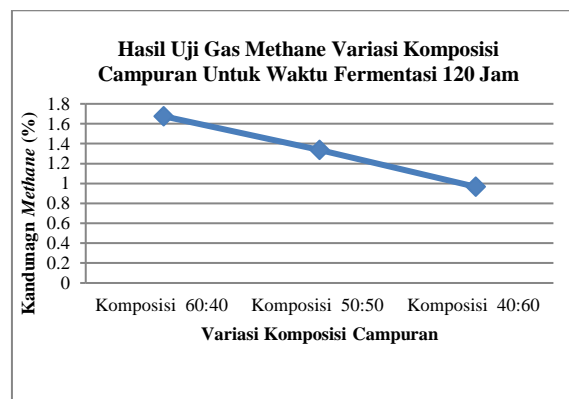
Gambar 4. Grafik hasil gas methane variasi waktu fermentasi pada komposisi 60:40



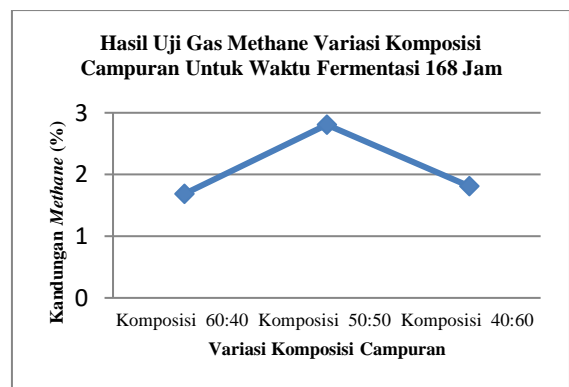
Gambar 5. Grafik hasil gas methane variasi waktu fermentasi pada komposisi 50:50



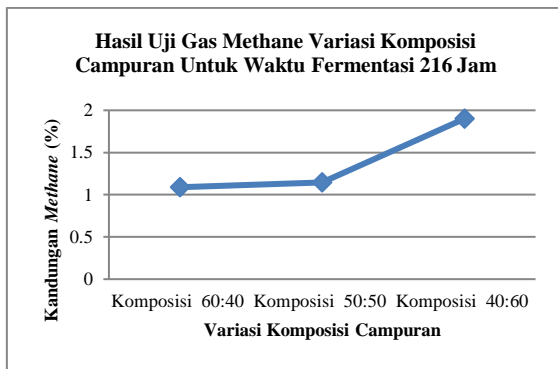
Gambar 6. Grafik hasil gas methane variasi waktu fermentasi pada komposisi 40:60



Gambar 7. Grafik hasil gas methane variasi komposisi campuran pada waktu fermentasi 120 jam



Gambar 8. Grafik hasil gas methane variasi komposisi campuran pada waktu fermentasi 168 jam



Gambar 9. Grafik hasil gas methane variasi komposisi campuran pada waktu fermentasi 216 jam

Pembahasan

Hasil gas *methane* pada variasi waktu fermentasi memberikan peningkatan gas *methane*, dimana pada waktu fermentasi 168 jam menghasilkan gas *methane* tertinggi yaitu sebesar 2,806 %. Waktu fermentasi pada digester dapat meningkatkan volume biogas yang dihasilkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Mujdalipah, S., dkk, (2014) dimana waktu fermentasi memberikan pengaruh yang nyata terhadap produksi biogas. Meningkatnya volume biogas juga meningkatnya kandungan unsur gas *methane* dalam biogas, dikarenakan unsur terbesar dalam biogas adalah *methane*. Hasil penelitian tersebut juga mendapatkan bahwa kombinasi campuran 80:20 antara limbah cair pabrik minyak kelapa sawit dari pabrik CPO dan lumpur aktif yang berasal dari campuran lumpur digester anaerobik dan feses sapi segar menghasilkan peningkatan biogas tertinggi.

Coniwanti, P, Herlanto, A, dan Y Anggraini, I, (2009) juga dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa biogas terbaik dihasilkan pada rasio perbandingan kadar ampas tahu 60 % dengan kadar air 40% dan waktu fermentasi 168 jam dengan volume gas *methane* 58, 89%, meskipun dalam penelitian tersebut variasi waktu fermentasi yang diteliti sampai dengan 180, 192, 204, dan 216 jam.

Kemudian Ramdiana, (2017) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair aren 1:1,25 menghasilkan biogas tertinggi dengan kadar gas metan 42%. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa pada komposisi yang mengandung lebih banyak limbah cair aren menghasilkan produksi biogas dan kadar metan yang rendah, karena komposisi limbah cair aren

masih dominan sehingga pH memiliki kandungan asam yang masih tinggi dan bakteri metan tidak dapat menyeimbangi pembentukan asam tersebut. Selain itu, rasio C/N dari campuran komposisi tersebut hanya 17-19 sehingga produksi biogas dan gas metan yang dihasilkan tidak optimal.

Meskipun dari hasil penelitian ini hasil gas *methane* tertinggi pada waktu fermentasi 168 jam pada komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair tahu 50:50 dibandingkan waktu fermentasi 216 jam, hasil penelitian ini juga mengindikasikan selain waktu fermentasi sebagai faktor utama yang mempengaruhi hasil gas *methane* juga karena pembentukan pH. Pada proses fermentasi bahan biogas dalam digester tidak ditambahkan bahan yang dapat merangsang berkembangbiaknya bakteri dalam digester serta dapat menstabilkan kondisi derajat keasaman (pH) dalam digester. Suyitno, Sojono, A., dan Dharmanto (2010) menjelaskan untuk dapat merangsang berkembangbiaknya bakteri dalam digester maka derajat keasaman perlu di atur pada kondisi pH sekitar 7,0. Kondisi ini dapat dicapai dengan jalan menambahkan larutan kapur (CaOH_2) atau kapur (CaCO_3) agar pH kembali naik ke angka 7,0. Jika kondisi pH turun ke angka di bawah 6,2 maka bakteri *methanogen* akan keracunan, dan produksi biogas akan turun.

Proses pengadukan bahan biogas dalam digester hanya pada saat pengambilan gas *methane* melalui mesin purifikasi, kondisi ini yang dimungkinkan hasil dari gas *methane* dalam penelitian ini tidak meningkat sejalan dengan lamanya waktu proses fermentasi. Tujuan pengadukan pada bahan biogas di dalam digester adalah mengurangi pengendapan dan menyediakan produksi bakteri yang seragam sehingga tidak terdapat lokasi yang mati dimana tidak terjadi proses *digestion* karena tidak terdapat bakteri. Selain itu dengan pengadukan dapat mempermudah pelepasan gas yang dihasilkan oleh bakteri menuju ke bagian penampung biogas. Dalam hal ini Pratiwi, A.A, (2107) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kandungan gas metana juga mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan variabel pengadukan 200, 400, 600 rpm dari 18,73; 21,17; dan 29,31%

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan kandungan gas methane tertinggi sebesar 2,806 % pada variasi komposisi campuran kotoran sapi dan limbah cair tahu 50:50 pada waktu fermentasi 168 jam. Hasil uji kandungan gas methane dipengaruhi oleh waktu fermentasi, kondisi pH dalam digester, dan intensitas pengadukan bahan biogas dalam digester.

Saran

Proses purifikasi biogas akan menghasilkan gas methane yang maksimal jika semua parameter yang ada pada alat purifikasi dalam kondisi baik dan terkontrol. Di sisi lain, perlakuan biogas dalam digester perlu sewaktu-waktu perlu di aduk agar biogas yang dihasilkan lebih banyak. Faktor volume biogas dalam digester juga perlu diukur. Faktor yang lain adalah jeda waktu lamanya sampel dilakukan pengujian juga mempengaruhi berkurangnya biogas yang ditampung dalam *vacutainer*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Coniwanti, P, Herlanto, A, dan Y Anggraini, I, (2009), *Pembuatan Bigas Dari Ampas Tahu*, Jurnal Teknik Kimia: No.1 Vol. 16.
- Direktorat Jenderal Peternakan Dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian. (2017). "Statistik Peternakan dan Kesehatan Hewan (Livestock and Animal Health Statistic 2017)". Jakarta. Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan Kementerian Pertanian RI.
- ENVE 737, 2014. "Biogas Purification and Utilization : Anaerobic Biotechnology for Bio-Energy Production. <http://mebig.marmara.edu.tr/Enve737/Chapter4-Bogas.pdf> (Di akses pada 3 Februari 2014).
- Fang, C., 2010. "Biogas Production from Food-processing Industrial Wastes by Anaerobic Digestion". Thesis PhD, Technical University of Denmark.
- Ghatak, M.D., and Mahanta, P, 2016. "Biogas Purification Using Chemical Absorption". International Journal of Engineering and Technology, Vol 8, No 3. ISSN : 2319-8613.
- Hamidi, N., Wardana, I., dan Widyaningrum 2011. "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam". Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 2, No.3.
- Huertas, J.I., et all, 2011. "Removal of H₂S and CO₂ from biogas by amine absorption. Mass Transfer in Chemical Engineering Processes", vol 307, INTECH Open Access Publisher, Rijeka.
- I.J. Dioha et all, 2013. "Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on Biogas Production". International Research Journal of Natural Sciences, Vol. 1, No. 3.
- Kemenperin. "Kementerian Perindustrian 2016. Perkembangan Jumlah Unit Usaha Industri Besar dan Sedang Indonesia". <http://kemenperin.go.id/statistik/ibskindikator.php?indikator=1> (Diakses 14 Oktober 2018).
- Kulkarni, M.B., Ghanegaonkar, P.M, 2019. "Hydrogen Sulfide Removal from Biogas Using Chemical Absorption Technique in Packed Column Reactors". Global Journal of Environmental Science and Management. 5(1):155-166, Winter.
- Maile, I., and Muzenda, E, 2014. "A Review of Biogas Purification Through chemical Absorption". International Conferrenc.on Chemical Engineering & Advanced Computational Technologies. Pretoria, 24-25.
- Mara, I.M, 2012. "Analisis Penyerapan Gas Karbondioksida (CO₂) Dengan Larutan NaOH Terhadap Kualitas Biogas Kotoran Sapi". Jurnal Dinamika Teknik Mesin, Vol. 2, No. 1.
- Mujdalipah, S., Dohong, S., Suryani, A., dan Fitria, A, 2014. "Pengaruh Waktu fermentasi Terhadap Produksi Biogas Menggunakan Digester Dua Tahap Pada berbagai Konsentrasi palm Oil-Mil Efluent dan Lumpur Aktif"gvffffgvv. Jurnal Agritech, Vol. 34, No. 1.
- Pratiwi, A.A, 2107. "Pengaruh Variasi Pengadukan Terhadap Volume Biogas Dari Kotoran Sapi Dengan Penambahan Bonggol Pisang". Tugas Akhir Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ramdiana, 2017. "Pengaruh Variasi Komposisi Pada Campuran Limbah Cair Aren dan Kotoran Sapi Terhadap Produksi Biogas".Jurnal Eksergi, Vol. 14, No. 2.

- Shah, D., Nagarseth, H, 2015. Low-Cost Biogas “Purification System for Bio CNG as Fuel for Automobile Engine”s. International Journal of Innovative Science., Engineering & Technology, 2(6): 308-312 (5 pages)
- Shah, D.R., et all, 2016. “Purification of Biogas using Chemical Scrubbing and Application of Purified Biogas as fuel for Automotive Engine”. Reseach Journal of Recent Sciences. Vol.5(ISC-2015) E-ISSN 2277-2502.
- Suyitno, dkk, 2010. “Teknologi Biogas (pembuatan, Operasional, dan Pemanfaatan)”, Graha Ilmu, Cetakan pertama, Yogyakarta.
- Tippayaeong, N., Thanompongchart, P, 2010. “Biogas Quqlity Upgrade by Simultaneous removal of CO₂ and H₂S in a packag Column Reactor, 35 (12)5431-5435 (5 pages).
- Widhiyanuriyawan, dkk, 2014. “Purifikasi Biogas dengan Variasi Ukuran dan massa Zeolit Terhadap Kandungan CH₄ dan CO₂”. Jurnal Rekayasa Mesin, Col. 5, No. 3, ISSN 2477-6041.