

Pemurnian Biogas Metode Adsorpsi Menggunakan *Down-Up Purifier* dengan Arang Aktif dan Silika Gel sebagai Adsorben

Abdul Mukhlis Ritonga¹⁾, Masrukhi¹⁾, Regita Pramesti Kusmayadi¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian,
Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman

Alamat Koresponden: abdul.ritonga@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik secara anaerob untuk menghasilkan gas yang sebagian besar berupa gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Pada kandungan biogas terdapat gas pengotor yaitu CO₂. Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas biogas agar kandungan gas metana pada biogas meningkat dan menurunkan gas-gas pengotor seperti CO₂ yaitu dilakukan proses pemurnian biogas menggunakan *purifier* yang berisi adsorben yaitu arang aktif dan silika gel. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui proses peningkatan kualitas biogas melalui proses pemurnian dan mengetahui kualitas biogas setelah melalui proses pemurnian menggunakan *Down-Up Purifier* dengan arang aktif dan silika gel sebagai adsorben. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan adsorben arang aktif dan silika gel dapat menurunkan kandungan gas CO₂ sebesar 78,2% dan kandungan gas CH₄ sebesar 68,4% dengan waktu pemurnian optimal yaitu 30 menit.

Kata Kunci : Biogas, Peningkatan Kualitas, Proses Pemurnian, Arang Aktif, Silika Gel

ABSTRACT

Biogas is an alternative energy source that is produced from anaerobic fermentation process to produce gas which is mostly in the form of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). In the biogas content there is impurity gas which is CO₂. One way to improve the quality of biogas is to increase methane gas content in biogas and reduce impurities like CO₂, a biogas purification process is carried out using a purifier containing an adsorbent, which is activated charcoal and silica gel. The research objective is to find out the process of improving the quality of biogas through the refining process and knowing the quality of biogas after going through the purification process using a Down-Up Purifier with activated charcoal and silica gel as an adsorbent. The results showed that the use of activated charcoal and silica gel adsorbents can reduce CO₂ gas content by 78.2% and CH₄ gas content by 68.4% with the most optimal purification time of 30 minutes.

Keywords: *Biogas, Quality Improvement, Purification Process, Active Charcoal, Silica Gel*

PENDAHULUAN

Biogas merupakan gas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob. Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan gas yang sebagian besar berupa gas metana (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri penghasil metan yang merupakan peluang besar untuk menghasilkan energi alternatif (Megawati & Kendali, 2015; Sulistiyanto *et al.*, 2016).

Energi mempunyai peranan penting untuk kebutuhan primer. Hampir semua aspek kehidupan memerlukan energi sebagai penggerak utama. Kebutuhan energi yang semakin meningkat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya peningkatan jumlah penduduk yang semakin meluas, dan peningkatan taraf hidup masyarakat sehingga menyebabkan konsumsi energi yang meningkat, untuk itu perlu pemikiran untuk keanekaragaman energi (diversifikasi

energi) dengan mengembangkan sumber energi lain sebagai alternatif. Diversifikasi energi merupakan salah satu kunci mengatasi ancaman kelangkaan energi di negeri ini. Konservasi dapat dilakukan dengan penghematan dan pengembangan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah biogas (Hasiholan *et al.*, 2016; Widyastuti *et al.*, 2011).

Kandungan biogas didominasi oleh gas metana (CH_4) kemudian disusul oleh karbondioksida. Dimana diketahui CO_2 merupakan sisa hasil dari suatu pembakaran maka akan mengganggu proses pembakaran itu sendiri, hal ini menyebabkan panas yang dihasilkan masih rendah. Oleh karena itu dibutuhkan usaha untuk menurunkan kadar CO_2 yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas dari biogas yaitu salah satunya adalah proses absorpsi. 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. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses absorpsi adalah konsentrasi/kepekatan dari adsorben yang digunakan (Hermawan *et al.*, 2016; Mara, 2012).

Proses pemurnian dengan metode adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan zat-zat padat atau adsorben untuk mengikat suatu zat dari suatu larutan. Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang telah digunakan dalam industri kimia. Salah satu potensi karbon aktif yaitu dapat digunakan sebagai pemurnian biogas. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif bergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan (Iriani & Ari, 2014). Silika gel merupakan media adsorpsi yang mempunyai daya serap tinggi terhadap air serta bersifat hidrofilik. Silika gel merupakan salah satu padatan anorganik yang dapat digunakan untuk keperluan adsorpsi karena memiliki gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang merupakan sisi aktif pada permukaannya (Kristianingrum *et al.*, 2011; Purwaningsih, 2009). Kualitas biogas yang dihasilkan dari beberapa macam limbah kotoran ternak masih kurang baik dikarenakan masih banyaknya zat pengotor yang terdapat dalam biogas. Upaya untuk meningkatkan kualitas biogas dari zat pengotor perlu dilakukan proses purifikasi atau pemurnian pada biogas dengan menyerap atau mengurangi kandungan zat pengotor pada biogas tersebut (Hermawan *et al.*, 2016; Sari, 2019).

Penelitian dilakukan peningkatkan kualitas biogas melalui proses pemurnian dengan alat pemurni biogas tipe *down-up purifier* dengan berbagai adsorben. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap kandungan metana sebelum pemurnian dan sesudah pemurnian sehingga diketahui peningkatan kualitas biogas setelah pemurnian. Selanjutnya limbah kotoran sapi difermentasi di dalam digester, kemudian biogas hasil fermentasi dialirkan melalui *purifier* biogas. *Purifier* metan diisi dengan variasi adsorben pada perbandingan tertentu (arang aktif : silika gel).

Tujuan dari penelitian yaitu: (1) untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pada proses produksi biogas, (2) untuk mengetahui proses peningkatan kualitas biogas melalui proses pemurnian dan mengetahui kualitas biogas setelah melalui proses pemurnian menggunakan *Down-Up Purifier* dengan arang aktif dan silika gel sebagai adsorben.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sistem Termal dan Energi Terbarukan, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dan Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian Universitas Jenderal Soedirman mulai Bulan September 2019 hingga Bulan Desember 2019.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi drum plastik 150 liter, drum 200 liter, *purifier*, selang air ½ inchi dengan panjang 1,5 meter, kran air ½ inchi, pipa paralon ½ inchi dengan panjang 5,5 meter, *shock* paralon ½ inchi, *niple*, plastik penampung biogas, ember,

kompor biogas, timbangan digital, *syiring*, termokopel, penggaris, gelas ukur, lem tembak, desikator, suntikan, gergaji, cawan, pH meter, *vakum tube*, dan termometer *infra red*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kotoran sapi dari *exfarm* peternakan Universitas Jenderal Soedirman, air, lem pipa paralon, isi lem tembak, arang aktif dan silika gel.

Rancangan Pengambilan Sampel

Tahap yang dilakukan selama penelitian adalah merakit unit digester biogas dengan tipe *down-up* dan alat pemurni biogas berbentuk tabung. Penelitian ini dilakukan peningkatkan kualitas biogas melalui proses pemurnian dengan alat pemurni biogas berbentuk tabung dengan berbagai adsorben. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap kandungan metana sebelum pemurnian dan sesudah pemurnian sehingga diketahui peningkatan kualitas biogas setelah pemurnian. Selanjutnya limbah kotoran sapi difermentasi di dalam digester, kemudian biogas hasil fermentasi ini dialirkan melalui *purifier* biogas. *Purifier* metan diisi dengan variasi adsorben pada perbandingan tertentu. Katalisator yang dipakai yaitu arang aktif dan silika gel. Katalisator tersebut diaktivasi terlebih dahulu agar dapat menghasilkan daya penyerapan yang maksimal. Selanjutnya dilakukan proses penyaringan biogas yang terdiri dari dua proses yaitu pertama kontrol (langsung) dengan mengambil biogas ke bagian selang keluaran gas dan proses pemurnian dengan adsorben 100% arang aktif dan 100% silika gel pada masing-masing *purifier*.

Untuk analisis gas dilakukan 2 kali pengambilan sampel, dengan variabel Persentase CH₄ dan CO₂; Lama Waktu Pemurnian Gas (T); dan Kontrol/tanpa pemurnian (C). Untuk waktu yang digunakan selama proses pemurnian berlangsung untuk setiap perlakuannya, yaitu:

T₁ = 30 menit; T₂ = 60 menit; T₃ = 90 menit

Variabel dan Pengukuran

Pengukuran atau pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya kandungan gas metana (CH₄), kandungan gas karbondioksida (CO₂), massa adsorben, warna api, dan nilai kalor.

Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah semua data terkumpul. Data yang diperoleh dalam penelitian akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan diagram, yaitu suhu, pH, *total solid*, *volatil solid*, metana (CH₄), karbondioksida (CO₂).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Peningkatan Kualitas Biogas Menggunakan *Down-Up Purifier*

1. Proses Peningkatan Kualitas Biogas Melalui Proses Pemurnian

Proses ini dilakukan dengan cara mengalirkan gas yang ada di dalam digester menggunakan selang yang terpasang diantara tabung digester dengan *purifier*, kemudian gas tersebut masuk kedalam dua *purifier* yang masing-masing di dalamnya sudah diisi dengan adsorben arang aktif dan silika gel, selanjutnya gas yang sudah masuk dibiarkan didalam *purifier* selama beberapa waktu untuk proses pemurnian (30 menit, 60 menit, dan 90 menit), selanjutnya gas yang sudah dimurnikan tersebut kemudian diambil dengan cara membuka kran yang berada di ujung *purifier* untuk mengalirkan gas. Gas yang telah sampai di ujung kedua *purifier*, kemudian gas tersebut diambil dengan menggunakan suntik yang selanjutnya dimasukkan dalam *vakum tube* dengan pengambil sampel tersebut dilakukan tiga kali.

2. Kualitas Biogas Setelah Melalui Proses Pemurnian dengan Arang Aktif dan Silika Gel sebagai Adsorben

a) Konsentrasi Kandungan Gas Metana (CH₄)

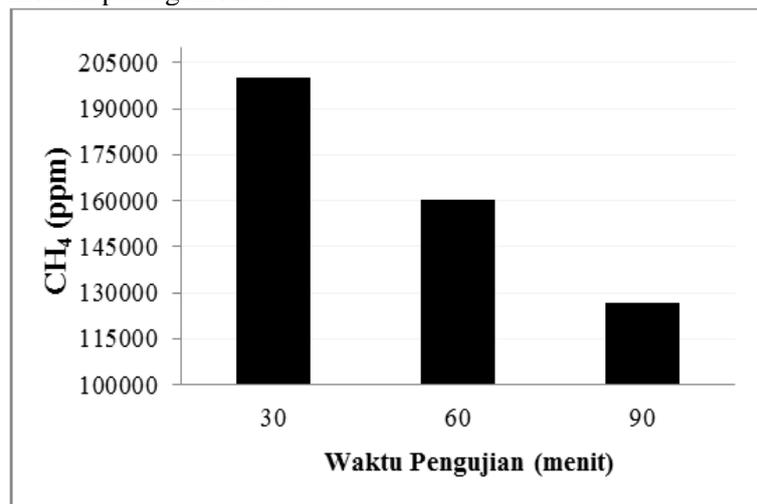
Pemurnian biogas menggunakan 2 *purifier* yang dipasang dengan rangkaian *down-up* menggunakan adsorben yang berbeda pada tiap *purifier*, dalam penelitian ini adsorben yang

digunakan yaitu Arang Aktif dan Silika Gel. Analisis gas dilakukan 3 kali pengambilan sampel dengan 3 waktu pengujian yang berbeda, yaitu dengan waktu 30, 60, dan 90 menit. Dari hasil pengujian didapatkan kandungan gas metana (CH_4) sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Kandungan Metana dalam Biogas dengan Arang Aktif dan Silika Gel

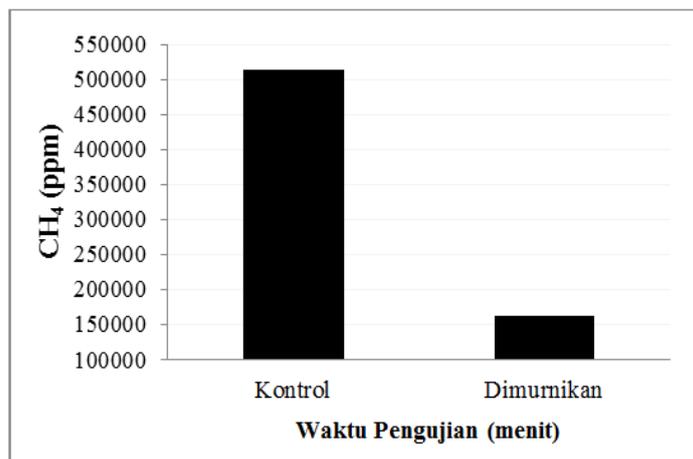
Waktu (menit)	Sampel (ppm)		
	1	2	3
30	183313,21	216149,03	201221,60
60	166259,64	151874,25	163523,85
90	115248,34	114792,98	149726,55

Berdasarkan hasil pengujian kandungan gas metana pada tabel 1, menunjukkan grafik konsentrasi gas metana pada gambar 1.



Gambar 1. Rata-rata kandungan CH_4

Kandungan gas metan tertinggi pada waktu 30 menit sebanyak 200.227,946 ppm. Pengukuran dengan waktu 60 menit diperoleh hasil 160.552,58 ppm dan pada waktu pengambilan 90 menit adalah yang terendah dengan jumlah 126.589,29 ppm. Jika dilihat dari gambar 10, kandungan gas metan dari setiap waktu pengukuran mengalami penurunan, hal ini dapat disebabkan oleh salah satu adsorben yang digunakan yaitu silika gel belum diaktivasi. Menurut Sudiarta & Putu (2018), proses aktivasi silika gel ini pada suhu 150°C selama 5 jam. Pada umumnya temperatur kerja silika gel sampai pada 200°C , jika dioperasikan lebih dari batas temperatur kerjanya maka kandungan air dalam silika gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang, sehingga kemampuan untuk menyerap gas-gas pengotor masih belum optimal (Riyadh, 2009). Penurunan kandungan gas metana juga disebabkan oleh instalasi *purifier* yang digunakan kurang baik sehingga menyebabkan pemurnian menjadi kurang optimal.



Gambar 2. Perbandingan konsentrasi CH₄ dengan variabel kontrol

Sampel kontrol (tanpa pemurnian) memiliki konsentrasi CH₄ 514.537,99 ppm dan rata-rata ketiga sampel yang dimurnikan sebesar 162.456,61. Kemurnian metana dari hasil biogas tersebut jadi penting karena akan mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan (Ritonga & Masrukhi, 2017). Pada gambar 9 terlihat bahwa terjadi penurunan antara biogas yang telah dimurnikan dengan tanpa pemurnian, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu instalasi pemurnian termasuk *purifier*, adsorben yang digunakan, dan jumlah adsorben.

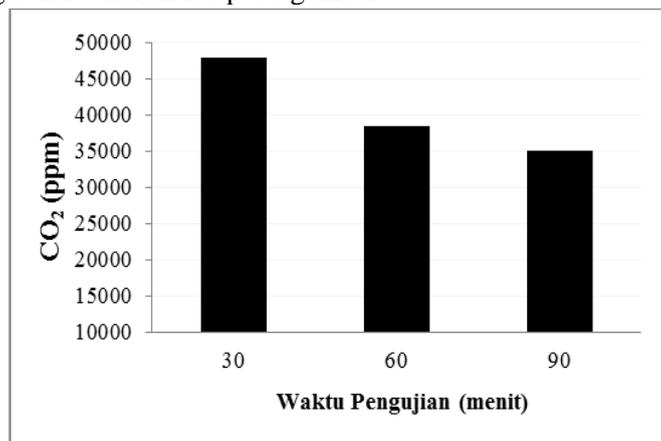
b) Konsentrasi Kandungan Gas Karbondioksida (CO₂)

Analisa yang dilakukan masih sama yakni menguji persentase karbondioksida (CO₂) yang terdapat di dalam biogas yang dimurnikan dengan adsorben arang aktif dan silika gel. Perlakuan yang diberikan sama seperti pengujian kandungan gas metana. Dari hasil pengujian didapatkan kandungan gas CO₂ sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kandungan Karbondioksida dalam Biogas dengan Adsorben Arang Aktif dan Silika Gel

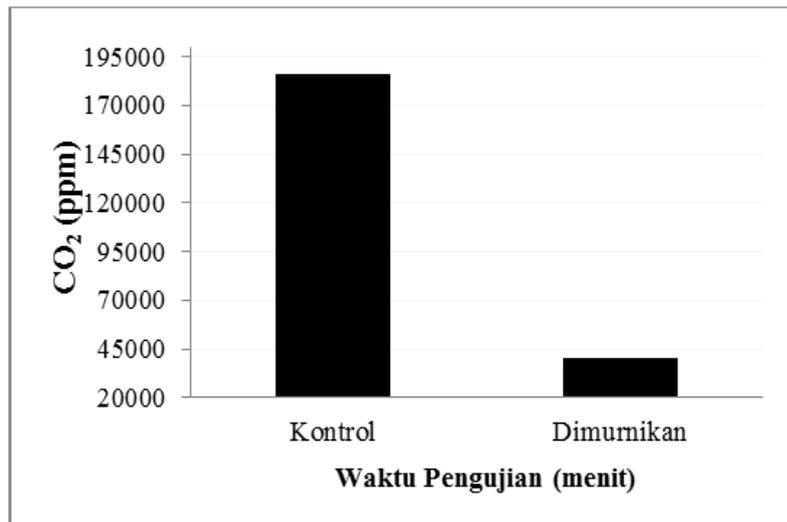
Waktu (menit)	Sampel (ppm)		
	1	2	3
30	40239,50	52805,66	50769,87
60	43412,18	31256,81	40464,40
90	36072,26	34442,68	34786,87

Berdasarkan hasil pengujian kandungan gas karbondioksida pada tabel 2, menunjukkan grafik konsentrasi gas karbondioksida pada gambar 3.



Gambar 3. Rata-rata kandungan CO₂

Rerata kandungan gas CO₂ tertinggi pada waktu pengambilan 30 menit sejumlah 47.938,343 ppm, kemudian mengalami penurunan pada pengujian dengan waktu 60 menit menjadi 38.377,80 ppm dan pada waktu 90 menit diperoleh hasil 35.100,6 ppm. Berdasarkan hasil penelitian kandungan gas karbondioksida dari setiap waktu pengukuran mengalami penurunan. Penurunan ini menunjukkan gas CO₂ pada biogas tereduksi oleh adsorben arang aktif dan silika gel. Adsorben silika gel ini merupakan padatan anorganik yang dapat digunakan untuk keperluan adsorpsi karena memiliki gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) yang merupakan sisi aktif pada permukaannya, sehingga memiliki daya serap untuk mengikat gas-gas pengotor yang ada pada biogas (Kristianingrum *et al.*, 2011; Purwaningsih, 2009). Menurut Yustinah & Hartini (2011), pada prinsipnya karbon aktif ini diolah lebih lanjut pada suhu tinggi dengan menggunakan gas CO₂, dan uap air, sehingga pori-porinya terbuka dan dapat digunakan sebagai adsorben. Daya serap karbon aktif disebabkan adanya pori-pori mikro yang sangat besar jumlahnya.



Gambar 4. Perbandingan konsentrasi CO₂ dengan variabel kontrol

Sampel CO₂ dari ketiga waktu dirata-rata menunjukkan konsentrasi sebesar 40.472,25 ppm kemudian dibandingkan dengan sampel kontrol dengan konsentrasi CO₂ sebesar 185.887,94 ppm, dari gambar 13 jika dibandingkan dengan sampel kontrol, konsentrasi CO₂ menunjukkan bahwa kandungan gas karbondioksida sebelum dilakukan pemurnian menunjukkan nilai yang cukup tinggi, namun setelah dilakukan pemurnian mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang digunakan yaitu arang aktif dan silika gel berhasil mengikat gas-gas pengotor sehingga adanya pengaruh pemurnian terhadap penurunan kadar gas karbondioksida pada biogas.

3. Massa Adsorben

Adsorben yang digunakan pada saat proses pemurnian biogas yaitu adsorben arang aktif dan silika gel. Pada umumnya adsorben arang aktif ini mempunyai kemampuan untuk mengikat ion pada sistem adsorpsi dan mampu mengadsorpsi anion, kation, serta molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik sebagai larutan maupun gas (Masitoh & Maria, 2013), sedangkan untuk adsorben silika gel ini merupakan padatan anorganik yang memiliki gugus silanol dan siloksan yang merupakan sisi aktif pada permukaannya serta mempunyai pori-pori yang luas sehingga baik digunakan untuk proses adsorpsi (Kristianingrum *et al.*, 2011; Purwaningsih, 2009). Adsorben arang aktif dan silika gel ini dengan masing masing sebanyak 2,5 kg untuk arang aktif dan 3 kg untuk silika gel. Adsorben arang aktif dan silika gel dimasukkan ke dalam masing-masing *purifier*. Setelah dilakukan proses pemurnian massa adsorben mengalami peningkatan, massa arang aktif menjadi 3,40 kg dan silika gel menjadi 3,65 kg. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang digunakan berhasil mengikat gas pengotor

yang terdapat pada biogas sehingga kandungan gas pengotor mengalami penurunan dan massa adsorben mengalami kenaikan.

4. Warna Api

Uji nyala api ini dilakukan pada saat sebelum pemurnian. Uji nyala api bertujuan untuk mengetahui kualitas biogas yang diproduksi dari masing-masing digester. Pada penelitian yang dilakukan diperoleh hasil pengujian lama nyala api pada kompor biogas dengan uji coba memasak telur hingga matang diperoleh waktu selama 9 menit dengan suhu telur $97,8^{\circ}\text{C}$, suhu minyak $99,1^{\circ}\text{C}$, suhu wajan $86,9^{\circ}\text{C}$, dan suhu api $152,7^{\circ}\text{C}$. Dalam hal ini lamanya waktu menyala api berdasarkan jumlah kandungan gas metana yang tertampung. Uji nyala terhadap gas yang dihasilkan melalui proses fermentasi anaerob merupakan salah satu cara untuk mengetahui terdapat atau tidaknya gas metana dalam gas tersebut (Yahya *et al.*, 2017).

Pengujian ini dilakukan pada saat biogas yang diambil dari digester melalui selang dan menghasilkan nyala api. Dari hasil penelitian bahwa warna api yang terlihat yaitu berwarna kebiruan, hal ini menunjukkan adanya gas metana. Berdasarkan hasil penelitian, hasil pengujian warna api dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengujian warna api

5. Nilai Kalor

Nilai kalor biogas tergantung pada komposisi metana (CH_4) dan Karbondioksida (CO_2), dan kandungan air di dalam gas. Gas mengandung banyak kandungan air pada bahan dapat menguap dan bercampur dengan metana. Bila kadar CH_4 tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalor yang tinggi. Sebaliknya jika kadar CO_2 yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah (Ritonga & Masrukhi, 2017). Pada biogas dengan kisaran normal yaitu 60-70% metana dan 30-40% karbon dioksida, nilai kalor antara $20\text{-}26 \text{ J/cm}^3$ (Meynel, 1976).

KESIMPULAN

Proses peningkatan kualitas biogas pada proses pemurnian menggunakan *Down-Up Purifier* dengan arang aktif dan silika gel sebagai adsorben diperoleh hasil maksimal pada waktu pemurnian 30 menit dengan kandungan gas metana (CH_4) sebesar 200227,95 ppm dan kandungan gas karbondioksida (CO_2) sebesar 47938,34 ppm. Kualitas gas hasil pemurnian dengan *Down-Up Purifier* mampu menurunkan kandungan gas karbondioksida (CO_2) namun tidak untuk menaikkan kandungan gas metana (CH_4).

DAFTAR PUSTAKA

Afriani, C., Agus., Udin & Iskandar. (2017). Produksi biogas dari campuran kotoran sapi dengan rumput gajah (*Pennisetum Purpureum*). *Jurnal Teknik Pertanian*. 6(1): 21-32.

- Dharma, U. S. & Bustomi, H. (2017). Pengaruh temperatur digester sistem kontinyu terhadap produksi biogas berbahan baku blotong. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2): 218-225.
- Fatimah & Angelin, G. (2017). Pengaruh penambahan trace metal (*molybdenum* dan *selenium*) terhadap pembuatan biogas dari sampah organik dan kotoran sapi. *Jurnal Teknik Kimia*, 6(4): 15-21.
- Hasiholan, U., Haryanto, A. & Prabawa, S. (2016). Produksi biogas dari umbi singkong dengan kotoran sapi sebagai starter. *Jurnal Teknik Pertanian*, 5(2): 109-116.
- Herawati, D. A. & Wibawa, A. A. (2010). Pengaruh *pretreatment* jerami padi pada produksi biogas dari jerami padi dan sampah sayur sawi hijau secara *batch*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 4(1): 25-29.
- Hermawan, D., Hamidi, N. & Sasongko, M. N. (2016). Performansi purifikasi biogas dengan koh based absorbent. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2): 65-73.
- Hutagalung, H. (2017). Pengaruh waktu tinggal dan komposisi bahan baku pada proses fermentasi terhadap produktifitas biogas limbah cair tahu di desa sindang sari. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Indrawati, R. (2017). Penurunan BOD pada biogas kotoran sapi campuran limbah cair industri penyamakan kulit dengan variasi kecepatan dan lama pengadukan. *Journal of Research and Technology*, 3(2): 44-53.
- Kristianingrum, S., Siswani, E. D. & Fillaeli, A. (2011). Pengaruh jenis asam pada sintesis silika gel dari abu *bagasse* dan uji sifat adsorptifnya terhadap ion logam tembaga (ii). *Prosiding Seminar Nasional Kimia Jurusan Pendidikan Kimia*, Yogyakarta. P. 281-292.
- Mara, I. M. (2012). Analisis penyerapan gas karbondioksida (CO_2) dengan larutan naoh terhadap kualitas biogas kotoran sapi. 2 (1): 1-8. Mataram.
- Megawati. & Aji, K. W. (2015). Pengaruh penambahan em4 (*effective microorganism-4*) pada pembuatan biogas dari eceng gondok dan rumen sapi. *Jurnal Bahan Alam dan Terbarukan*, 4(2): 42-49.
- Ni'mah, L. (2014). *Biogas from solid waste of tofu production and cow manure mixture : composition effect*. *Journal of Chemical*, 1(1): 1 – 9.
- Purnomo, E. A., Sutrisno, E. & Sumiyati, S. (2017). Pengaruh variasi c/n rasio terhadap produksi kompos dan kandungan kalium (k), pospat (p) dari batang pisang dengan kombinasi kotoran sapi dalam sistem *vermicomposting*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2): 1-15.
- Purwaningsih, D. (2009). Adsorpsi multi logam ag (i), pb (ii), cr (iii), cu (ii) dan ni (ii) pada hibrida *etilendiamino-silika* dari abu sekam padi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Yogyakarta. P. 264-271.
- Ritonga, A. M. & Masrukhi.(2017). Optimasi kandungan metana (CH_4) biogas kotoran sapi menggunakan berbagai jenis adsorben. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 10/2: 8-17.
- Riyadh, M. (2009). Analisa proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel sebagai adsorben dan air sebagai adsorbat untuk aplikasi pendingin alternatif. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Depok.
- Sanjaya, D., Haryanto, A. & Tamrin.(2015). Produksi biogas dari campuran kotoran sapi dengan kotoran ayam. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 4(2): 127-136.
- Saputra, T., Triatmojo, S. & Pertiwiningrum, A. (2010). Produksi biogas dari campuran feses sapi dan ampas tebu (*bagasse*) dengan rasio c/n yang berbeda. *Jurnal Buletin Peternakan*, 34(2): 114-122.
- Sari, K. (2019). Efisiensi proses adsorpsi menggunakan silika gel terhadap kadar bioetanol bonggol jagung (*zea mays*). *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Sarwono, E., Subekti, F. & Widarti, B. N. (2018). Pengaruh variasi campuran eceng gondok (*eichhornia crassipes*) dan isi rumen sapi terhadap produksi biogas. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(1): 1-10.
- Sudiarta, I. W. & Suarya, P. (2018). Modifikasi silika gel melalui reaksi heterogen dengan *difenilkarbazon*. *Journal of Applied Chemistry*, 6 (2): 131-137.

- Sulistiyanto, Y., Sustiyah., Zubaidah. & Satata, B. (2016). Pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber biogas rumah tangga di kabupaten pulang pisau provinsi kalimantan tengah. *Jurnal Udayana Mengabdi*, 15(2): 150-158.
- Wahyuni, S. (2008). *Biogas*. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Widarti, B. N., Syamsiah, S. & Mulyono, P. (2012). Degradasi substrat *volatile solid* pada produksi biogas dari limbah pembuatan tahu dan kotoran sapi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(1): 14-19.
- Widyastuti, F. R., Purwanto. & Hadiyanto. (2011). Potensi biogas melalui pemanfaatan limbah padat pada peternakan sapi perah bangka *botanical garden* pangkalpinang. *Jurnal Teknik Kimia*, Semarang.
- Yahya, Y., Tamrin. & Triyono, S. (2017). Produksi biogas dari campuran kotoran ayam, kotoran sapi, dan rumput gajah mini (*pennisetum purpureum cv. Mott*) dengan sistem *batch*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(3): 151-160.
- Yustinah & Hartini. (2011). Adsorpsi minyak goreng bekas menggunakan arang aktif dari sabut kelapa. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Yogyakarta.