

PEMURNIAN BIOGAS DENGAN METODE ADSORBSI PADA VARIASI WAKTU PEMURNIAN DAN LAJU ALIRAN MENGUNAKAN ADSORBEN ARANG AKTIF DAN SILIKA GEL

*Biogas Purification with Adsorption Method on Variation of Time and Flow Rate
using Activated Charcoal and Silica Gel as Adsorbent*

Abdul Mukhlis Ritonga^{1)*}, Masrukhi Masrukhi²⁾, Dewi Novita³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno No. 61 Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia, 53123

*Korespondensi Penulis: abdul.ritonga@unsoed.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.20884/1.jaber.2021.2.2.5170>

Naskah ini diterima pada 10 November 2021; revisi pada 15 November 2021;
disetujui untuk dipublikasikan pada 27 November 2021

ABSTRAK

Pemurnian biogas merupakan upaya untuk meningkatkan nilai kalor biogas. Kandungan CO₂ dalam biogas menyebabkan nilai kalor biogas menjadi turun, sehingga perlu dilakukan pemurnian untuk menurunkan kadar gas CO₂ dan meningkatkan kadar gas CH₄. Tujuan penelitian adalah 1) Untuk mengetahui pengaruh waktu pemurnian terhadap kualitas biogas, 2) Mengetahui pengaruh laju alir gas terhadap pemurnian terhadap kualitas biogas yang dihasilkan, dan 3) Menentukan lama waktu pemurnian dan laju alir gas terbaik. untuk pemurnian biogas. Metode penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor yaitu waktu pemurnian (15, 20, dan 25 menit) dan laju alir gas (2,4, dan 6 L/menit) masing-masing diulang tiga kali, kemudian dianalisis data menggunakan uji ANOVA dan dilanjutkan dengan uji DMRT. Hasil penelitian menunjukkan rasio C/N 19,46%, suhu substrat rata-rata 30,23°C, pH rata-rata 7,3, total padatan 7,217, dan padatan volatil 79,459. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kadar metana, sedangkan kadar karbon dioksida tidak berpengaruh nyata. Waktu pemurnian dan laju alir biogas terbaik adalah 25 menit (178.018,01 ppm) dan 6 L/menit (474.744,3 ppm) karena menghasilkan kandungan metana tertinggi, sedangkan untuk kandungan karbon dioksida pada waktu pemurnian 20 menit (1201,62 ppm) dan laju aliran gas 4 L/menit (52.012,4 ppm) karena menghasilkan kadar karbon dioksida paling rendah.

Kata kunci: biogas, karbon dioksida, laju alir, metana, waktu pemurnian

ABSTRACT

Biogas purification is an effort to increase the calorific value of biogas. The CO₂ content in biogas causes the calorific value of the biogas to decrease, so it is necessary purification is carried out to reduce CO₂ gas levels and to increase gas levels CH₄. The research objectives were 1) To determine the effect of refining time on quality biogas, 2) Knowing the effect of gas flow rate on purification on the quality of the biogas produced, and 3) Determine the duration of purification and the best gas flow rate for purification biogas. The research method used a completely randomized design (CRD) with two factors namely the purification time (15, 20, and 25 minutes) and the gas flow rate (2,4, and 6 L/min) respectively repeated three times, then analyzed the data using the ANOVA test and followed by the DMRT test. The results showed a C/N ratio of 19.46%, the average substrate temperature was 30.23°C, the average pH was 7.3, the total solid was 7.217, and volatile solid of 79.459. ANOVA test results show that there is a significant effect on methane content, while carbon dioxide content has no effect real. The best purification time and biogas flow rate were 25 minutes (178,018.01 ppm) and 6 L/minute (474,744.3 ppm) because it produces the highest methane content, while for the content carbon dioxide at a purification time of 20 minutes

(1201.62 ppm) and a gas flow rate of 4 L/minute (52,012.4 ppm) due to produces the lowest levels of carbon dioxide.

Keywords: biogas, carbon dioxide, flow rate, methane, purification time

PENDAHULUAN

Berdasarkan peraturan daerah provinsi Jawa Tengah Nomor 12 tahun 2018 (RUED), target energi baru terbarukan (EBT) Jawa Tengah pada tahun 2025 adalah 21,32% dengan realisasi EBT pada tahun 2018 sebesar 10,82% yang masih jauh dari yang ditargetkan. Sejalan dengan adanya pengembangan EBT tersebut, telah banyak sumber energi yang mulai dikembangkan dikarenakan semakin menipisnya cadangan minyak bumi. Salah satu sumber energi yang dikembangkan yaitu biogas sebagai salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan dan mudah diaplikasikan.

Biogas adalah gas yang mudah terbakar dan berasal dari bahan-bahan organik yang difermentasi secara anaerob oleh bakteri (Pertiwinigrum, 2015). Secara prinsip, biogas terbentuk dari proses kimiawi yang melibatkan mikroorganisme (Wahyuni, 2013). Proses kimia tersebut yaitu dekomposisi bahan organik secara anaerobik yang menghasilkan sebagian besar gas karbondioksida dan metana (Megawati *et al.*, 2015). Jumlah karbondioksida dan metana dalam biogas akan mempengaruhi nilai kalor dari biogas yang dihasilkan, apabila jumlah karbondioksida lebih banyak dari metana maka nilai kalor pembakarannya akan menurun. Sebaliknya, apabila jumlah metana yang dihasilkan lebih banyak maka nilai kalor pembakarannya akan meningkat dan api yang dihasilkan berwarna biru (Burke, 2001). Salah satu upaya untuk meningkatkan kandungan metana dalam biogas adalah dengan pemurnian biogas. Pemurnian biogas bertujuan untuk menghilangkan gas-gas pengotor seperti karbondioksida, hidrogen sulfida, air, dan gas pengotor lainnya yang jumlahnya lebih sedikit. Hidrogen sulfida dalam biogas dapat membahayakan lingkungan karena bersifat racun, berbau, dan menyebabkan korosi. Senyawa air dalam biogas dapat menyebabkan titik nyala api menurun dan menimbulkan korosi pada peralatan pembakaran (Harihastuti *et al.*, 2014). Salah satu metode pemurnian yang banyak digunakan yaitu metode adsorpsi. Adsorpsi sendiri adalah suatu proses yang terjadi ketika fluida (gas atau cair) terikat pada suatu padatan dan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut (Syauqiah *et al.*, 2011). Bahan yang dipakai sebagai sumber adsorpsi misalnya arang aktif

Arang aktif adalah bahan adsorpsi yang berbentuk butiran atau serbuk dengan permukaan lapisan yang luas dan memiliki tarikan yang lebih kuat dalam menyerap kontaminan air. Arang aktif dapat digunakan untuk menjernihkan air dan menghilangkan bau busuk karena dapat menyerap berbagai jenis zat di dalam cairan maupun gas (Syauqiah *et al.*, 2011). Metode pemurnian menggunakan arang aktif telah banyak digunakan karena di samping harganya yang murah metode yang digunakanpun sederhana sehingga mudah digunakan (Hamdaoui *et al.*, 2006).

Adsorben lain yang dapat digunakan untuk pemurnian biogas adalah silika gel. Silika gel merupakan salah satu bahan kimia yang memiliki bentuk padatan dan dapat dibuat dari larutan silikat serta banyak digunakan sebagai adsorben (Hindryawati *et al.*, 2010). Selain sebagai adsorben silika gel juga sering digunakan pada makanan karena memiliki kemampuan untuk menyerap kelembaban untuk mencegah kerusakan pada makanan (Pristiyanto *et al.*, 2005). Karena adanya situs aktif pada permukaan, silika gel lazim digunakan sebagai penjerap atau bersifat adsorptif (Sulastri *et al.*, 2010). Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh waktu lama pemurnian terhadap kualitas biogas, mengetahui pengaruh laju aliran gas pada pemurnian terhadap kualitas biogas yang dihasilkan dan menentukan lama pemurnian dan laju aliran gas terbaik pada pemurnian biogas.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah unit digester (drum plastik, selang air, kran air, pipa paralon, *nipple*, plastik penampung biogas), timbangan, lem tembak, *cromatografi gas*, *syiring*, *vacuum tube*, *flow meter*, alat pemurni biogas berbentuk tabung dengan diameter 15 cm dan tinggi 100 cm. Bahan yang digunakan adalah kotoran sapi dari *Exfarm* Fakultas Peternakan Universitas Jenderal Soedirman, air, adsorben padat (arang aktif dan silika gel), lem pipa paralon, dan isi lem tembak

Tahapan Penelitian

Tahap Persiapan

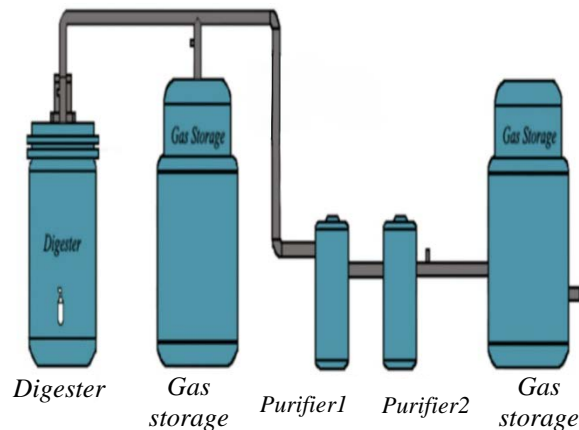
Pada tahap ini dilakukan penyediaan peralatan dan bahan untuk penelitian. Persiapan dimulai dari bahan baku dengan menyiapkan kotoran sapi, merakit instalasi biogas dan *metan purifier*. Pada tahapan ini juga dilakukan uji kebocoran terhadap digester yang digunakan.

Tahap Pengukuran Awal

Pada tahap ini dilakukan pengukuran variabel awal yang mempengaruhi pada proses fermentasi dan pembentukan biogas. Variabel awal yang diukur meliputi *C/N ratio*, *total solid*, dan *volatile solid*.

Tahap Fermentasi Anaerob

Pada tahap ini substrat berupa air dan kotoran sapi dimasukkan ke dalam digester, substrat tersebut dicampur dan diaduk hingga menyatu/homogen ke dalam digester yang telah dirakit. Pada tahap fermentasi dilakukan pengukuran suhu dan pH satu kali dalam 24 jam.



Gambar 1. Instalasi pemurnian biogas

Tahap Penelitian Lanjutan

Mengukur gas metana dan karbondioksida melalui proses pemurnian biogas berlapis menggunakan *metan purifier* dengan laju alir gas dan waktu fermentasi yang berbeda.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) 2 faktor dengan menggunakan faktor variasi lama pemurnian (15, 20, dan 25 menit) dan laju aliran biogas (2, 4, dan 6 l/menit) dengan 3 kali ulangan. Analisis data menggunakan *analysis of variants* (ANOVA) dengan taraf α 5% dilanjutkan dengan uji *duncan's multiple range test* (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

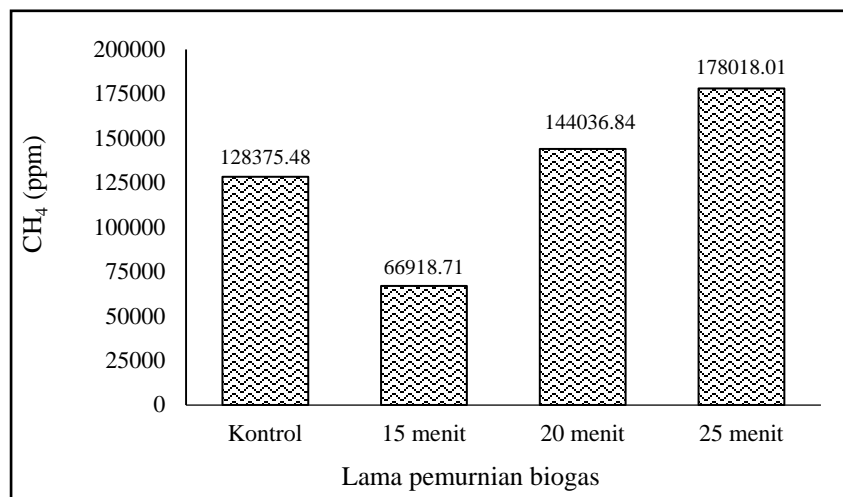
Nilai Rasio C/N, pH, Total Solid, dan Volatile Solid Sebelum Pemurnian Biogas

Rasio C/N dari campuran substrat air dan kotoran sapi dengan perbandingan 1:1 adalah sebesar 19,46% yang dilakukan sebelum proses fermentasi kotoran sapi. Selama proses fermentasi dilakukan pengukuran pH dan suhu substrat dengan rata-rata pengukuran pH adalah sebesar 7,3 dan suhu substrat sebesar 30,23°C. Proses fermentasi biogas berlangsung selama 55 hari. Pengukuran *total solid* dan *volatile solid* dilakukan sebelum dan sesudah fermentasi, *total solid* sebelum fermentasi adalah sebesar 6,68 dan *volatile solid* sebesar 85,99, sedangkan *total solid* setelah fermentasi sebesar 7,217, mengalami kenaikan yang disebabkan karena bertambahnya jumlah sel mikroba yang terbawa sampel. *Volatile solid* setelah fermentasi sebesar 79,459, mengalami penurunan yang menyebabkan pembebanan pada proses perombakan saat hidrolisis akan menurun (Herawati & Wibawa, 2011).

Kandungan Metana (CH₄) Biogas Setelah Pemurnian

A. Kandungan Metana (CH₄) Berdasarkan Lama Pemurnian Biogas

Pengujian metana dari proses pemurnian menggunakan adsorben arang aktif dan silika gel dengan variasi lama pemurnian (15, 20, dan 25 menit) tersaji pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kandungan gas metana

Kandungan metana biogas kontrol sebelum dilakukan pemurnian sebesar 128.375,48 ppm. Kandungan metana pada lama pemurnian 25 menit menghasilkan metana tertinggi sebesar 178.018,01 ppm (**Gambar 2**). Peningkatan kandungan metana setelah pemurnian disebabkan kemampuan adsorben dalam menyerap CO₂ sangat baik (Wahono, 2010). Adsorben arang aktif yang digunakan bersifat hidrofob dan nonpolar yang mampu mengikat karbon (Ritonga & Masrukhi, 2017). Berdasarkan penelitian Kusmayadi *et al.* (2019) yang melakukan pemurnian biogas menggunakan adsorben arang aktif dan silika gel dengan menggunakan variasi lama pemurnian (30, 60, dan 90 menit) diperoleh waktu pemurnian terbaik yaitu 30 menit dengan kandungan metana sebesar 200.227,95 ppm.

Analisis uji ANOVA pada perlakuan lama pemurnian terhadap kandungan metana diperoleh bahwa lama pemurnian berpengaruh signifikan terhadap kandungan metana yang dihasilkan. **Tabel 1**, menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemurnian menghasilkan beda nyata ($\alpha = 5\%$) pada kandungan gas metana. Hal ini diduga karena interaksi adsorben dengan biogas yang lama mengakibatkan gas pengotor yang yang terikat diperbukana adsorben semakin besar, sehingga metannya yang dihasilkan meningkat.

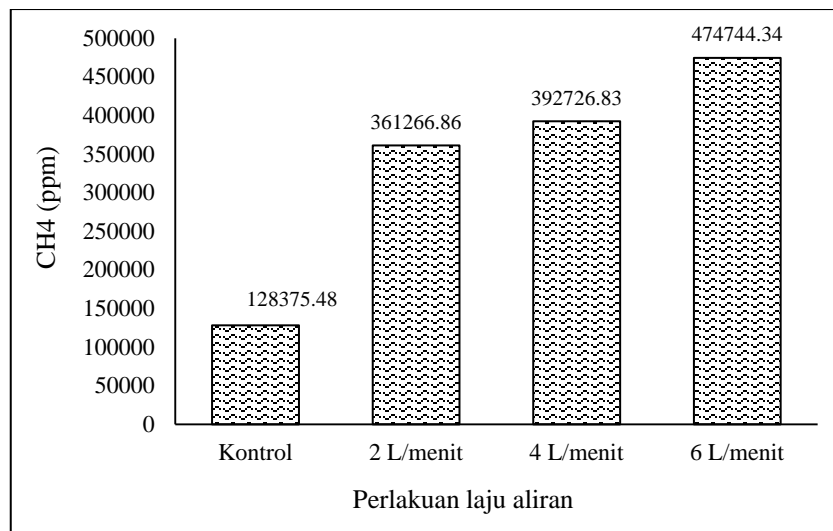
Tabel 1. kandungan metana hasil berdasarkan lama waktu pemurnian biogas

Perlakuan	Kandungan metana (ppm)	Notasi ^{*)}
I (15 menit)	66.918,71 ^a	a
II (20 menit)	144.036,84	b
III (25 menit)	178.018,01	b

*)Keterangan: notasi yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata pada $\alpha = 5\%$

B. Kandungan Metana (CH_4) Berdasarkan Laju Aliran Biogas

Pemurnian biogas dengan variasi laju aliran (2, 4, 6 l/menit) terhadap kandungan metana yang dihasilkan diperoleh data sebagai berikut:



Gambar 3. Kandungan gas metana dari rata-rata perlakuan laju aliran.

Variabel kontrol kandungan metana sebelum pemurnian dapat dilihat pada Gambar 3 di atas, dimana kandungan metana tertinggi setelah dilakukan pemurnian sebesar 474.744,34 ppm pada laju alir 6 l/menit. Kenaikan kandungan metana disebabkan karena gas-gas *impurities* telah tereduksi atau terserap oleh karbon aktif, sedangkan uap air mengalami kondensasi (Hariastuti, 2016). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Iriani & Haryadi (2014) yang melakukan pemurnian biogas menggunakan adsorben arang aktif dengan variasi laju aliran 0,015 L/menit, 0,02 L/menit, 0,025 L/s diperoleh kandungan metana tertinggi sebesar 96,03% pada laju aliran 0,025 L/menit, sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran maka kandungan metana yang dihasilkan semakin tinggi.

Tabel 2. Rerata kandungan metana hasil pemurnian pada laju aliaran

Perlakuan	Kandungan Metana (ppm)	Notasi*
I (2 l/menit)	361.266,9	a
II (4 l/menit)	392.726,8	b
III (6 l/menit)	474.744,3	c

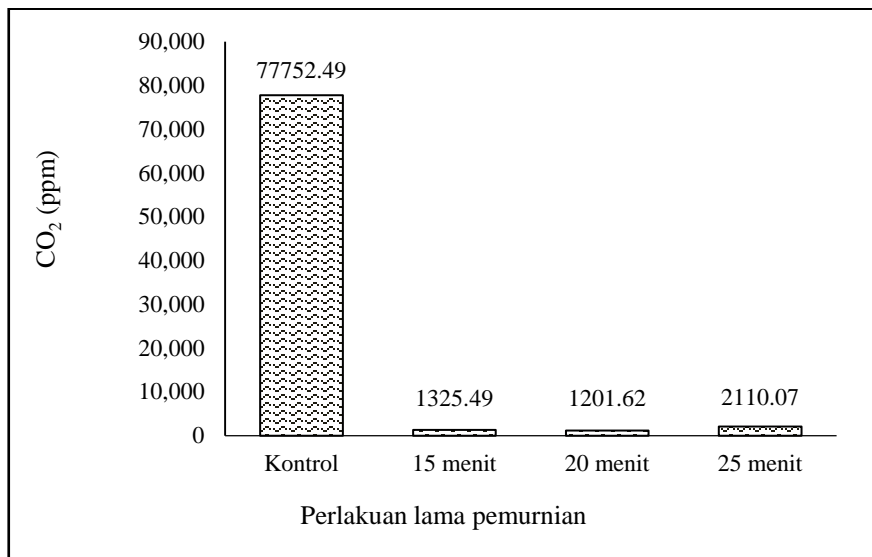
*) Keterangan: notasi yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata pada $\alpha = 5\%$

Pada **Tabel 2**, menunjukkan bahwa variasi laju pemurnian biogas menghasilkan beda nyata ($\alpha = 5\%$) pada kandungan gas metana. Hal ini diduga karena gas-gas *impurities* telah tereduksi atau diserap oleh karbon aktif, sedangkan uap air mengalami kondensasi. Iriani & Heryadi (2014) menyatakan bahwa pada pemurnian biogas akan terjadi peningkatan konsentrasi metana (CH_4) pada luaran kolom pemurni dan peningkatan jumlah karbondioksida (CO_2) yang teradsorpsi pada kolom pemurni. Kedua kandungan gas tersebut akan berbanding lurus dengan laju aliran.

Kandungan Karbondioksida (CO_2) Biogas Setelah Pemurnian

A. Kandungan CO_2 Berdasarkan Lama Pemurnian Biogas

Kandungan karbondioksida yang dihasilkan dari pemurnian menggunakan adsorben arang aktif dan silika gel diperoleh data:



Gambar 4. Kandungan gas karbondioksida dari rata-rata perlakuan lama pemurnian

Variabel kontrol kandungan karbondioksida sebelum pemurnian sebesar 77.752,49 ppm. Kandungan karbondioksida terendah terdapat pada lama pemurnian 20 menit sebesar 1201,62 ppm, sedangkan pada lama pemurnian 15 menit dan 25 menit masing-masing sebesar 1325,49 ppm dan 2110,07 ppm. Penurunan kandungan karbondioksida disebabkan Karena gas karbondiosida tereduksi oleh adsorben arang aktif dan silika gel. Adsorben silika gel memiliki sisi aktif pada permukaannya sehingga memiliki daya serap untuk mengikat gas pengotor dalam biogas (Kriastianingrum *et al.*, 2011; Purwaningsih, 2009).

Tabel 3. Rerata kandungan karbondioksida hasil pemurnian lama pemurnian

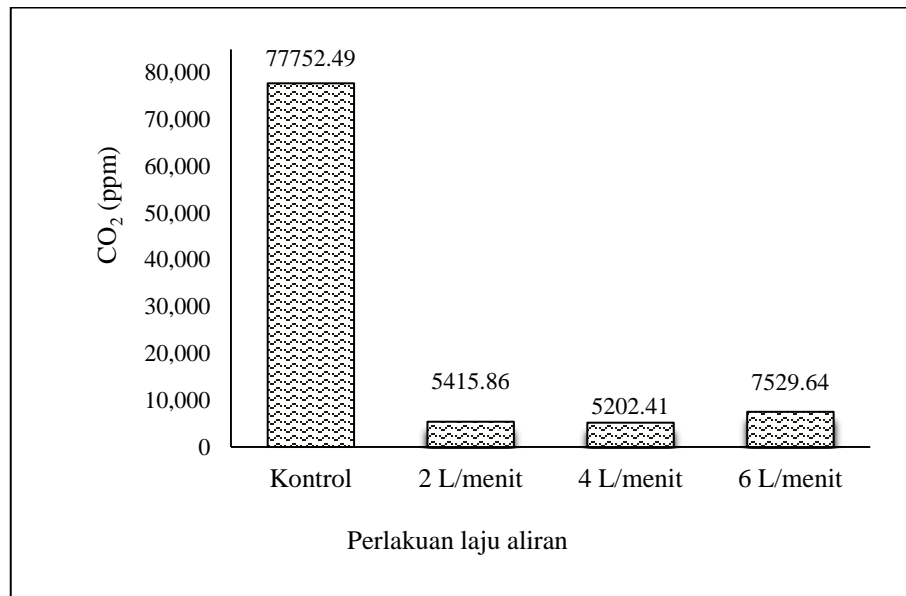
Perlakuan	Kandungan CO ₂ (ppm)	Notasi*
I (15 menit)	1201,623	a
II (20 menit)	1325,49	a
III (25 menit)	2110,073	a

*) Keterangan: notasi yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata pada $\alpha = 5\%$

Analisis uji ANOVA pada perlakuan lama pemurnian terhadap kandungan karbondioksida ($\alpha = 5\%$) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kandungan karbondioksida yang dihasilkan. Kandungan gas karbondioksida (CO₂) menurun sebanyak 80,90% dari sebelum dilakukan pemurnian.

B. Kandungan CO₂ Berdasarkan Laju Aliran Biogas

Perlakuan variasi laju aliran terhadap kandungan karbondioksida yang dihasilkan diperoleh data:



Gambar 5. Kandungan gas karbondioksida dari rata-rata perlakuan laju aliran biogas

Variabel kontrol kandungan karbondioksida sebelum pemurnian sebesar 77.752,49 ppm, diketahui bahwa pada Gambar 5 di atas terjadi penurunan kandungan karbondioksida setelah pemurnian dimana kandungan karbondioksida terendah sebesar 5202,41 ppm dari laju aliran 4 l/menit. Penurunan tersebut dikarenakan kemampuan adsorben yang baik dalam menyerap gas CO₂. Besarnya kandungan karbondioksida yang terserap, dikarenakan arang aktif memiliki pH basa sedangkan CO₂ bersifat asam sehingga dapat diserap dengan baik oleh pori-pori arang aktif (Widyastuti *et al.*, 2013)

Tabel 4. Rerata kandungan karbondioksida hasil pemurnian pada laju aliran

Perlakuan	Kandungan CO ₂ (ppm)	Notasi*
I (2 L/menit)	5202,41	a
II (4 L/menit)	5415,86	ab
III (6 L/menit)	7529,64	ab

*) Keterangan: notasi yang berbeda menunjukkan adanya beda nyata pada $\alpha = 5\%$

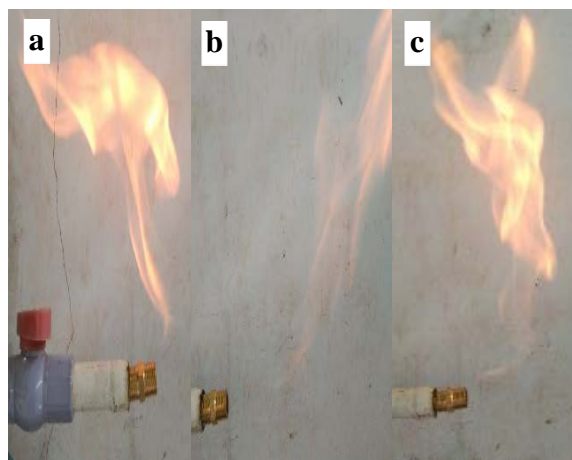
Analisis uji ANOVA pada perlakuan laju aliran biogas terhadap kandungan metana ($\alpha = 5\%$) berpengaruh signifikan terhadap kandungan karbondioksida yang dihasilkan. Variasi laju aliran biogas 2 L/menit merupakan perlakuan terbaik karena memiliki kandungan CO₂ terendah.

Warna Api

Uji nyala api bertujuan untuk mengetahui kualitas biogas yang diproduksi yaitu mengetahui kandungan metana yang didalam biogas (Yahya *et al.*, 2017). Uji nyala pi pada penelitian ini dilakukan dengan cara membakar gas yang keluar dari selang pengeluaran gas. Hasil uji Warna nyala api adalah sebagai berikut:

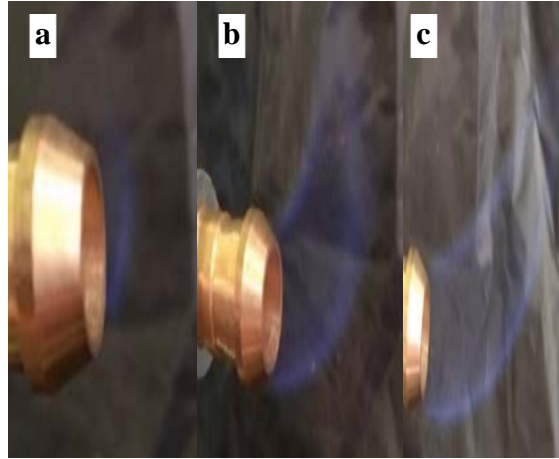


Gambar 6. Warna api biogas tanpa pemurnian (kontrol)



Gambar 7. Warna nyala api lama biogas berdasarkan lama pemurnian, yaitu a). 10 menit, b). 20 menit, dan c). 30 menit

Pada perlakuan lama pemurnian, nyala api yang dihasilkan ialah kuning sedikit kemerahan. Hal tersebut dapat dikategorikan bahwa api yang dihasilkan masih banyak mengandung gas karbondioksida (CO_2). Menurut Gunawan (2018), warna api kekuningan masih mengindikasikan nilai kalor dibawah api warna biru sebelum nilai kalor warna api merah



Gambar 8. Warna api berdasarkan variasi laju, yaitu aliran a). 0,1 L/menit; b). 0,5 L/menit; dan c). 1,0 L/menit

Aliran api yang dihasilkan pada perlakuan laju aliran terlihat beraturan. Kurnianto (2019) menyatakan bahwa warna api biru yang dihasilkan pada pembakaran biogas menandakan bahwa gas tersebut banyak mengandung oksigen sehingga nilai kalornya akan lebih tinggi.

KESIMPULAN

Kadar gas metana (CH_4) tertinggi dihasilkan oleh variasi lama pemurnian 25 menit sebanyak 178.018,01 ppm, sedangkan untuk kadar CO_2 terendah pada lama pemurnian 20 menit sebanyak 1201,62 ppm. Gas metana paling banyak dihasilkan pada perlakuan laju aliran 6L/menit sebesar 474.744,3 ppm dan gas karbondioksida terendah dihasilkan pada laju aliran 4 L/menit sebesar 5202,41 ppm.

Waktu pemurnian dan laju aliran biogas terbaik yaitu 25 menit dan 6 L/menit karena menghasilkan kadar metana tertinggi, sedangkan untuk kandungan karbondioksida pada waktu pemurnian 20 menit dan laju aliran gas 4 L/menit karena menghasilkan kadar karbondioksida terendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman atas Hibah Penelitian yang diberikan pada Skim Penelitian Peningkatan Kompetensi Tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Burke, A.D. (2001). *Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook*. Environmental Energi Company: Olympia.
- Hamdaoui, O., and Mahdi, C. (2006). *Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Wheat Bran*. *Acta Chim.* 54 (1): 407-418.
- Harihastuti, N., Purwanto, Istadi. (2014). *Kajian Penggunaan Karbon Aktif dan Zeolit secara Terintegrasi dalam Pembuatan Biomethane Berbasis Biogas*. *Jurnal Riset Industri*, Vol. 8 No. 1:65-72, Universitas Diponegoro, Semarang.

- Hindryawati, N., Alimuddin. (2010). *Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH)*. Jurnal Kimia Mulawarman. Vol. 7, No. 2. ISSN 1693-5616.
- Iriani, P., Heryadi, A. (2014). *Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif*. SIGMA-Mu - J. Publ. Has. Penelit. dan Gagasan Ilm. Multidisiplin 6, 36–42.
- Kepala Dinas ESDM. (2019). *Bauran Energi Provinsi Jawa Tengah (PERDA RUED Nomor 12 tahun 2018)*. Data ESDM Jawa Tengah, Semarang.
- 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.
- Kurnianto, B.S. (2019). *Analisa Karakteristik Api Pembakaran Premixed Biogas dengan Campuran Propana*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.
- Kusmayadi, R.P, A.M. Ritonga, Masrukhi. (2019). *Pemurnian Biogas Metode Adsorpsi Menggunakan Down-Up Purifier dengan Arang Aktif dan Silika Gel sebagai Adsorben*. Skripsi. Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman.
- Megawati, A. Kendali. (2015). *Pengaruh Penambahan EM₄ (Effective Microorganism-4) pada Pembuatan Biogas dari Enceng Gondok dan Rumen Sapi*. Jurnal Bahan Alam Terbarukan. Vol. 4 No. 2: 42-49. Universitas Negeri Semarang.
- Pertiwiningrum A. (2015). *Instalasi Biogas*. Pusat Kajian Pembangunan Peternakan Nasional Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada. CV. Kolom Cetak: Yogyakarta.
- Prastiyanto A, Choiril A, Adi D. (2005). *Pengaruh penambahan merkaptobenzotiazol (MBT) terhadap kemampuan adsorpsi gel silika dari kaca pada ion logam Kadmium*. Seminar Tugas Akhir S1 Jurusan Kimia FMIPA UNDIP, Jurusan Kimia UNDIP.
- 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 (CH₄) dalam Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben*. Jurnal Rona Teknik Pertanian. Vol. 10 No. 2.
- Sulastri, S., Krsitianingrum, S. (2010). *Berbagai Macam Senyawa Silika: Sintesis, Karakterisasi dan Pemanfaatan*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian. Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sya'roni, A. I. (2016). *Analisa Warna Api dan Suhu Pembakaran Biogas Limbah Pasar yang sudah dipurifikasi dengan Kalium Hidroksida*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Syauqiah, I., Amalia, M., Kartini, H. A. (2011). *Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif*. INFO TEKNIK, Vol. 12 No. 1.
- Wahyuni, S. (2013). *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik*. PT. Agro Media Pustaka. Jakarta Selatan. 117 hlm.
- Widyastuti, A., Sitorus, B. Jayuska, A. (2013). *Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas Dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik*. Jurnal Kimia Khatulistiwa, 2(1): 30-33.
- Yahya, Y., Tamrin, Triyono, S. (2017). *Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Ayam, Kotoran Sapi, dan Rumpuk Gajah Mini (Pennisetum Purpureum cv. Mott) dengan Sistem Batch*. Jurnal Teknik Pertanian Lampung, 6(3): 151- 160.