

Analisis Pengaruh Penggunaan Arang Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Temperatur Nyala Api Gas Bio Dari Feses Sapi

Defmit B. N. Riwu ^{1*}

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: riwu_defmit@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan kelangkaan energi merupakan persoalan yang terus berkembang dan diperbincangkan didunia tentang kebutuhan akan sumber energi yang terbarukan yang bersifat ramah lingkungan. Biogas merupakan salah satu energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Biogas dalam penelitian ini berasal dari feses sapi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses pemurnian biogas yang menggunakan arang aktif sebagai adsorben terhadap temperatur nyala api biogas dari feses sapi. Beberapa teknologi pemurnian biogas telah dikembangkan dengan berbagai macam metode, dalam penelitian ini menggunakan teknologi adsorben. Salah satu adsorben yang mudah diperoleh dan ekonomis adalah arang aktif. Pada penelitian ini, dilakukan pemurnian biogas menggunakan arang aktif yang berukuran 60 mesh dengan kapasitas volume arang aktif 1,5 liter dan debit alir gas 1580 l/s yang memvarisikan 3 tabung adsorben dengan ukuran tabung yang berbeda-beda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemurnian biogas pada tabung III memiliki temperatur yang tinggi dan baik, tinggi nyala api, dan warna nyala api dengan perbedaan pada tabung I, tabung II dan tanpa pemurnian yaitu temperatur nyala api sebesar 701°C, tinggi nyala api 66,4735 mm.

ABSTRACT

The problem of energy shortages is a problem that is evolving and being discussed in the world about the need for green renewable energy sources. Biogas is an alternative energy substitute for heating oil. Biogas in this study came from cow dung. The aim of this study is to determine the influence of the biogas purification process with activated carbon as an adsorbent on the flame temperature and the color of the biogas flame from cow dung. In this study, several biogas purification technologies were developed using various methods using adsorbent technology. One of the readily available and inexpensive adsorbents is activated carbon. In this study, a biogas purification was performed using 60 mesh activated carbon with a volume volume of 1.5 liters of activated carbon and a gas flow rate of 1580 l / s, varying 3 adsorbent tubes of different tube sizes. The results showed that the biogas purification in pipe III had a high and good temperature, flame height and flame color with differences in pipe I, pipe II and without cleaning, ie the flame temperature of 701 ° C, flame height 66.4735 mm and the color of the produced Flame is light blue, the quality of the produced biogas is very good. Thus it can be concluded that the comparison of the biogas purification in pipe III has a flame temperature and flame height and flame color which is more optimal than the biogas purification in pipe I, pipe II and without cleaning.

Keywords: *Biogas, Activated Carbon, Biogas Purification Plants, Adsorbents*

PENDAHULUAN

Permasalahan kelangkaan energi merupakan persoalan yang terus berkembang dan diperbincangkan didunia tentang kebutuhan akan sumber energi yang terbarukan. Meningkatnya permintaan energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan taraf hidup manusia, dan juga

menipisnya sumber cadangan minyak bumi. Untuk mengatasi masalah pengurangan ketergantungan manusia terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak. Salah satu energi terbarukan yang mulai dipertimbangkan yang

menghasilkan pembakaran ramah lingkungan adalah biogas.

Biogas merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, limbah industri makanan, dan sampah yang didegradasi secara anaerobik oleh bakteri dalam lingkungan bebas oksigen (Soerawidjaja, 2006). Ada beberapa teknologi yang digunakan untuk pemurnian biogas telah dikembangkan dengan berbagai macam metode yaitu *water scrubbing*, *chemical absorption*, *membrane purification*, dan *adsorption technology*. Teknologi adsorpsi pada biogas merupakan teknologi yang menggunakan prinsip adsorpsi penyerapan gas pengotor didalam biogas terutama karbondioksida (CO_2), air (H_2O), dan Hidrogen sulfida (H_2S) untuk mendapatkan persentase kandungan gas metana (CH_4) didalam biogas akan meningkat. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh proses pemurnian biogas yang menggunakan arang aktif sebagai adsorben terhadap temperatur nyala api dan warna nyala api biogas dari feses sapi.

Pada penelitian sebelumnya (Apria W. dkk, 2013) melakukan penelitian tentang pemurnian biogas dengan menggunakan karbon aktif dari cangkang sawit sebagai adsorben gas dalam biogas hasil fermentasi anaerobik sampah organik. Penelitian ini melakukan pengukuran gas, karbon aktif dari cangkang sawit diaktivasi kimia sehingga memiliki daya serap gas CO_2 sebesar 6,1% dan kadar gas CH_4 sebesar 65,5%, dan karbon aktif komersial memiliki daya serap CO_2 sebesar 12,96% dan kadar gas CH_4 sebesar 70,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan hasil analisis GSA pada pengukuran gas dengan karbon aktif dari cangkang sawit memiliki potensi sebagai adsorben gas karena dilihat dari peningkatan kadar CH_4 sebelum menggunakan adsorben dan sesudah menggunakan adsorben untuk pemurnian biogas.

Pemurnian biogas adalah sebuah proses reduksi terhadap kandungan gas pengotor yang terdapat di dalam biogas seperti CO_2 , H_2S , H_2O , N_2 , H_2 , CO dengan menggunakan

bahan-bahan pengikat atau maupun bahan-bahan penyerap yang bereaksi dengan gas tersebut baik dalam bentuk gas, cair maupun padat untuk proses pemurnian biogas. Adsorben dapat didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen-komponen tertentu dari suatu fase gas dan fluida (Arfan, 2006). Adsorben merupakan material berpori dengan proses adsorpsinya berlangsung di dinding pori-pori atau pada lokasi tertentu pada pori tersebut. Karbon aktif (arang aktif) merupakan arang dengan struktur amorphous atau mikrokristalin yang sebagian besar terdiri karbon bebas dan memiliki permukaan dalam (*Internal surface*). Karbon aktif memiliki luas permukaan yang berkisar antara 300-2000 m^2/g . Pada proses aktivasi juga terbentuk pori-pori baru karena adanya pengikisan atom karbon melalui oksidasi ataupun pemanasan (Agusta, 2012). Luas permukaan internal karbon aktif yang telah diteliti umumnya lebih besar dari 500 m^2/gram dan bisa mencapai 1908 m^2/gram .

Temperatur nyala adalah temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar. Temperatur nyala juga bervariasi sesuai dengan rasio masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar. Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur nyala api adalah termometer termokopel.

METODE PENELITIAN

Pengukuran laju alir ditentukan dengan mengukur kecepatan fluida atau perubahan energi kinetik, salah satu alat yang menggunakan prinsip kerja tekanan yaitu venturimeter. Pipa venturi merupakan sebuah pipa yang memiliki penampang bagian tengahnya lebih sempit dan diletakkan mendatar dengan dilengkapi dengan manometer-U untuk mengetahui perbedaan tinggi permukaan air raksa yang ada sehingga besarnya tekanan dapat diperhitungkan. Dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Bernoulli maka:

Diameter pipa 1, $D_1 = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$

Diameter pipa 2, $D_2 = 1 \text{ mm} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Massa jenis biogas, $\rho_b = 0,656 \text{ kg/m}^3$

Massa jenis air raksa, $\rho_{ar} = 13600 \text{ kg/m}^3$

Kecepatan aliran fluida di sisi kanan:

$$V_2 = A_1 \sqrt{\frac{2(\rho_{ar} - \rho_b)gh}{\rho_b(A_1^2 - A_2^2)}}$$

Dimana :

A_1 = luas penampang pipa 1 (m^2)

A_2 = luas penampang pipa 2 (m^2)

ρ_{ar} = massa jenis air raksa (kg/m^3)

ρ_b = massa jenis biogas (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

h = ketinggian air raksa (mm)

V_2 = Kecepatan aliran gas (m/s)

Debit aliran fluida di sisi kanan :

$$Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4}} \sqrt{\frac{2gh(\rho_{ar} - \rho_b)}{\rho_b}}$$

Dimana :

D_1 = diameter pipa 1 (m^2)

D_2 = diameter pipa 2 (m^2)

ρ_{ar} = massa jenis air raksa (kg/m^3)

ρ_b = massa jenis biogas (kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

h = ketinggian air raksa (mm)

Q = debit aliran gas (L/s)

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengayak berukuran 60 mesh, termometer termokopel, venturi meter, digester biogas, pipa PVC, pipa PVC ½ inchi, tutup pipa PVC, selang, water drient, stop kran, tabung penampung, lem epoxy, lem pipa, sok drat ½ inchi, water mur, klem selang, gergaji besi, burner, kertas pasir.

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain biogas dari kotoran sapi, arang aktif yang sudah diaktivasi dengan ukuran serbuk arang aktif 60 mesh.

Metode Penelitian

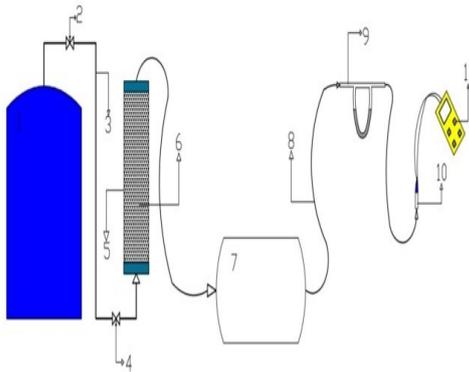
Metode yang digunakan yaitu metode *True Experimental* atau eksperimental nyata agar data hasil penelitian dapat lebih mendekati hasil yang aktual dan data yang didapatkan dalam penelitian di masukan dalam bentuk grafik sehingga bisa disesuaikan lagi dengan pustaka-pustaka yang ada dan di pertanggung jawabkan dengan baik dan benar.

Prosedur Penelitian

Alat yang dibutuhkan untuk membuat reaktor pemurnian biogas antara lain:

- Reaktor biogas inilah terjadi proses fermentasi biogas dengan lamanya waktu yang memerlukan 1-3 minggu untuk dapat menghasilkan gas.
- Stop kran sebagai pembuka atau penutup pada saat menyalurkan gas.
- Pipa penyalur gas ini menghubungkan reaktor biogas dengan water drient untuk menyalurkan gas menuju tabung pemurni untuk proses pemurnian gas.
- Water drient sebagai katup pembuangan air yang terkondensasi didalam digester dengan pipa penyalur gas menuju tabung adsorben.
- Tabung adsorben sebagai tempat serbuk arang aktif (spesimen uji) yang berfungsi sebagai pemurnian biogas.
- Tabung penampung gas sebagai tempat menampung gas hasil proses pemurnian.
- Selang penyalur gas sebagai penyalur gas dipasang pada tabung penampung gas untuk menyalurkan gas yang sudah dimurnikan ke burner.
- Burner sebagai tempat nyala api sehingga bisa mengetahui nyala api dan mengukur temperatur nyala api.

Berikut ini adalah gambar skema alat pemurnian biogas.

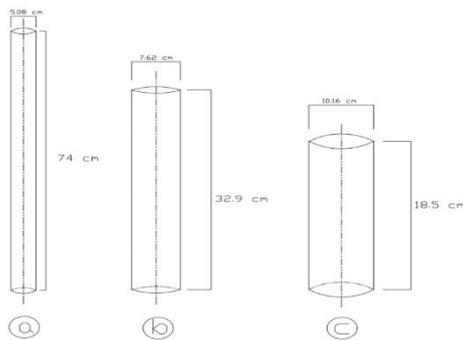


Gambar 1. Skema pemurnian biogas

Keterangan :

1. Digester
2. Stop kran
3. Pipa penyalur gas
4. Water drier
5. Tabung adsorben
6. Adsorben (arang aktif)
7. Tabung penampung gas
8. Selang penyalur gas
9. Venturimeter
10. Burner
11. Termometer termokopel

Model tabung pemurni yang digunakan dalam penelitian

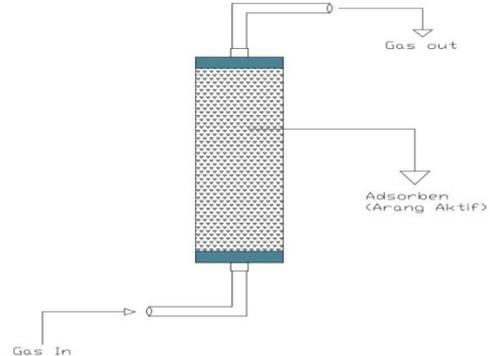


Gambar 2. Model Tabung Pemurni (Tabung Adsorben)

Keterangan :

- Tabung adsorben (tabung pemurni) I
- Tabung adsorben (tabung pemurni) II
- Tabung adsorben (tabung pemurni) III

Desain unit tabung pemurni yang di gunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Desain Unit Tabung Pemurni

Prosedur Pengujian

Tahapan kerja pada penelitian ini terdiri dari dua tahap antara lain :

- Proses pembuatan tabung pemurni dibuat menggunakan pipa PVC yang berukuran sesuai model tabung pemurni.
- Proses pemurnian biogas terdiri dari dua macam proses pemurnian yakni biogas tanpa perlakuan atau proses tanpa pemurnian dan proses pemurnian biogas menggunakan arang aktif dengan ukuran arang 60 mesh dan kapasitas arang aktif adalah 1.5 liter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diuji dalam penelitian ini adalah pemurnian biogas terhadap temperatur nyala api dan tinggi nyala api dan debit alir gas sedangkan data yang di amati adalah ketinggian air raksa dalam venturi meter yang dilengkapi manometer-U. pemurnian biogas terhadap temperatur nyala api sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan sehingga pengujian terhadap faktor ini dilakukan, sedangkan pengamatan terhadap ketinggian air raksa dalam venturimeter yang dilengkapi manometer-U bertujuan agar data yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung debit alir gas.

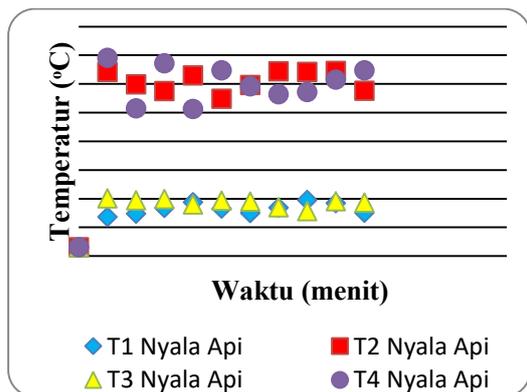
Bahan pemurnian yang digunakan arang aktif dengan ukuran serbuk arang aktif 60

mesh dan kapasitas arang aktif 1.5 liter. Dalam penelitian ini digunakan 3 model tabung adsorben dengan ukuran tabung yang berbeda-beda.

Tabel 1. Data Hasil Perbandingan Antara Biogas Tanpa Pemurnian Dan Tabung I, Tabung II, Dan Tabung III

Waktu (Menit)	Debit Alir Gas (L/Sekon)	Temperatur Nyala Api (°C)			
		Tanpa Pemurnian	Tabung I	Tabung II	Tabung III
0	0	30.1	29.6	29.8	30.2
2	1580	135.9	231.2	280.9	344.4
4	1580	147.6	255.6	242.5	422.6
6	1580	167.4	258.9	268.5	389.2
8	1580	187.8	214.7	331	337.6
10	1580	165.1	233.6	266	368.7
12	1580	149.1	239.5	233.9	470.3
14	1580	168.5	288.5	242.2	481.8
16	1580	194.7	201.5	296.3	502.4
18	1580	184.1	206	252.7	437.8
20	1580	151.1	228.1	234.7	380.3

Hasil pengujian pemurnian terhadap temperatur nyala api tanpa pemurnian

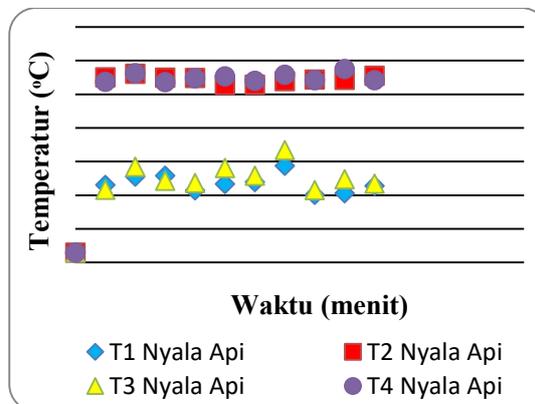


Gambar 3. Perbandingan Waktu Dan Temperatur Nyala Api Tanpa Pemurnian

Berdasarkan grafik pada Gambar 3 di atas, dapat di lihat bahwa temperatur nyala api tanpa pemurnian atau tanpa adsorben dengan lama waktu 20 menit, dan temperatur nyala api

tertinggi terdapat pada T4 yang diperoleh nilai sebesar 690.1°C. Dan temperatur nyala api terendah terdapat pada T1 yang memperoleh nilai 135.9°C. Nilai temperatur nyala api yang didapatkan melalui penelitian tanpa pemurnian biogas di atas menunjukkan bahwa kandungan gas metana (CH₄) masih terendah karena didalam biogas masih terdapat gas-gas yang memiliki kandungan tinggi seperti karbondioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), karbon monoksida (CO), nitrogen (N₂) dan amonia (NH₃) sehingga mempengaruhi kualitas biogas. Maka untuk meningkatkan nilai kandungan gas metana dan nilai temperatur api harus melakukan pemurnian biogas untuk menyerap gas-gas pengotor menggunakan arang aktif sebagai adsorben.

Hasil pengujian temperatur nyala api menggunakan arang aktif sebagai adsorben pada tabung I

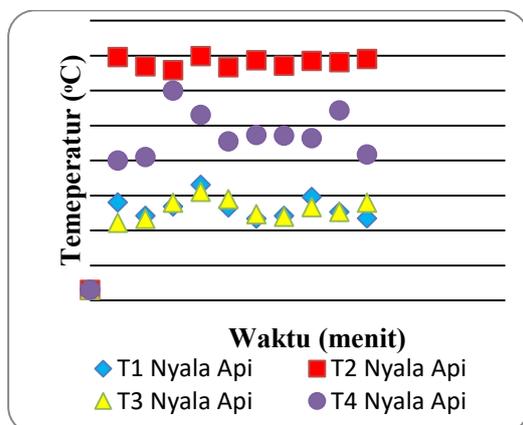


Gambar 4. Perbandingan Waktu Dan Temperatur Nyala Api Pada Tabung I

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa pemurnian biogas menggunakan arang aktif berukuran 60 mesh dengan kapasitas volume arang aktif 1.5 liter pada tabung I dengan lama waktu 20 menit untuk meningkatkan kandungan gas metana (CH₄), dan memiliki temperatur nyala api tertinggi pada T4 yang diperoleh nilai sebesar 576°C. Dan temperatur nyala api terendah terdapat pada T1 yang memperoleh nilai 206°C. Nilai temperatur nyala api diatas menunjukkan bahwa temperatur nyala api

pada tabung I meningkat, karena adanya proses pemurnian biogas menggunakan arang aktif. Semakin lama gas yang melewati luas penampang yang kecil maka semakin lama proses pemurnian gas sehingga kandungan gas metana meningkat. Dalam penelitian ini proses aktivasi arang aktif bertujuan untuk membuka pori-pori dan memperbesar luas permukaan arang aktif sehingga dapat menyerap gas-gas pengotor yang ada didalam biogas. Apria widyastuti dkk (2013), meneliti tentang karbon aktif dari limbah cangkang sawit sebagai adsorben gas dalam biogas hasil fermentasi anaerobik sampah organik.

Hasil pengujian temperatur nyala api menggunakan arang aktif sebagai adsorben pada tabung II

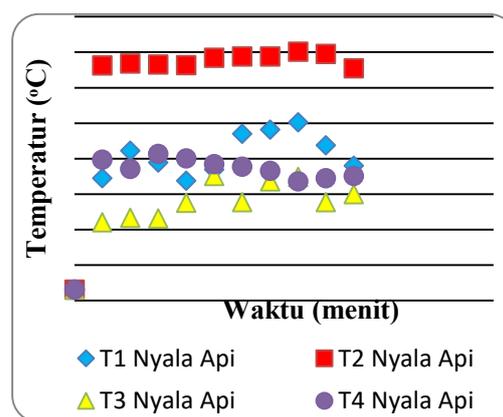


Gambar 5. Perbandingan Waktu Dan Temperatur Nyala Api Pada Tabung II

Berdasarkan grafik pada gambar 5 di atas menunjukkan bahwa pemurnian biogas menggunakan arang aktif berukuran 60 mesh dengan kapasitas arang aktif 1.5 liter pada tabung II dengan lama waktu 20 menit untuk meningkatkan kandungan gas metana (CH_4), dan memiliki temperatur nyala api tertinggi pada T2 yang diperoleh nilai sebesar 698,8°C. Dan temperatur nyala api terendah terdapat pada T3 yang memperoleh nilai 222,4°C. Nilai temperatur nyala api diatas menunjukkan bahwa temperatur nyala api pada tabung II meningkat, karena adanya proses pemurnian biogas menggunakan arang aktif. Semakin

lama gas yang melewati luas penampang yang sedang maka semakin cepat proses pemurnian gas sehingga kandungan gas metana meningkat. Dalam penelitian ini proses aktivasi arang aktif bertujuan untuk membuka pori-pori dan memperbesar luas permukaan arang aktif sehingga dapat menyerap gas-gas pengotor yang ada didalam biogas. Iriani dkk (2014), meneliti tentang pemurnian biogas melalui kolom beradsorben karbon aktif.

Hasil pengujian temperatur nyala api menggunakan arang aktif sebagai adsorben pada tabung III



Gambar 6. Perbandingan Waktu Dan Temperatur Nyala Api Pada Tabung III

Berdasarkan grafik pada gambar IV.5 di atas menunjukkan bahwa pemurnian biogas menggunakan arang aktif berukuran 60 mesh dengan kapasitas arang aktif 1.5 liter pada tabung III dengan lama waktu 20 menit untuk meningkatkan kandungan gas metana (CH_4), dan memiliki temperatur nyala api tertinggi pada T2 yang diperoleh nilai sebesar 701°C. Dan temperatur nyala api terendah terdapat pada T3 yang memperoleh nilai 220,5°C. Nilai temperatur nyala api diatas menunjukkan bahwa temperatur nyala api pada tabung III meningkat, karena adanya proses pemurnian biogas menggunakan arang aktif. Semakin lama gas yang melewati luas penampang yang besar maka semakin cepat proses pemurnian gas sehingga kandungan gas metana meningkat. Dalam penelitian ini proses aktivasi arang aktif bertujuan untuk membuka

pori-pori dan memperbesar luas permukaan arang aktif sehingga dapat menyerap gas-gas pengotor yang ada didalam biogas. Suprianti dkk (2016), meneliti tentang pemurnian biogas untuk meningkatkan nilai kalor melalui adsorpsi dua tahap susunan seri dengan media karbon aktif. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu tekanan pada penampung gas yang diberikan tidak secara otomatis atau cara manual sehingga untuk mendapatkan temperatur api yang baik pada proses pemurnian biogas pada tabung III yang tidak stabil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data pengujian dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Pemurnian biogas yang menghasilkan temperatur nyala api yang baik yaitu hanya dihasilkan pada tabung III adalah 701°C dengan lama waktu 20 menit untuk pemurnian. Semakin besar luas penampangnya maka semakin cepat gas yang melewati adsorben untuk proses pemurnian sehingga menghasilkan temperatur nyala api yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Apria, W., Sitorus, B., dan Afghani Jayuska., 2013. Karbon Aktif Dari Limbah Cangkang Sawit Sebagai Adsorben Gas dalam Biogas Hasil Fermentasi Anaerobik Sampah Organik. E-journal Universitas Tanjungpura. Vol. 2 No. 1.
- [2]. Agusta, Diana. 2012. Uji Adsorpsi Gas CO Pada Asap Kebakaran Dengan Menggunakan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa yang Terimpregnasi TiO₂. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- [3]. Arfan, Yopi. 2006. Pembuatan Karbon aktif Berbahan dasar Batubara dengan Perlakuan Aktivasi terkontrol Serta Uji Kinerjanya. Skripsi. Depok Departemen Teknik Kimia FT-UI.
- [4]. Iriani, P., Heryadi, A. 2014. Pemurnian Biogas Melalui Kolom Beradsorben Karbon Aktif. Sigma-Mu. Vol. 6 No. 2.
- [5]. Kosaric, N., Velikonja. 1995. Liquid and Gaseous Fuels from Biotechnology Challenge and Opportunities. FEMS. Microbiology Reviews. 16 : 111-142.
- [6]. Kumoro, Cahya A., Hadiyanto. 2004. Adsorpsi Karbondioksida Dengan Larutan Soda Api Dalam Kolom Unggun Tetap. Forum Teknik. Jilid 24.
- [7]. Kharunisa, Ratna. 2008. Kombinasi Teknik Elektrolisis dan Teknik Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Untuk menurunkan Konsentrasi Senyawa Fenol Dalam Air. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- [8]. Nasruddin. 2005. Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel-Water Adsorption Chiller. Disertation. Germany : Rwth Aachen.
- [9]. Prayugi, Ginanjar Eko, Sumardi Hadi Sumarlan, Rini Yulianingsih. 2015. Pemurnian Biogas Dengan Sistem Pengembunan dan Penyaringan Menggunakan Beberapa Bahan Media. Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem. Vol. 3 No. 1 : 7-14.
- [10]. Price, E.C., Cheremisinoff P.N. 1981. Biogas Production and Utilization. Inc. United States of Amerika : Ann Arbor Science Publishers.
- [11]. Rahman, Burhani. 2005. Biogas Sumber Energi Alternatif. (<http://www.energi.lipi.go.id/utama.agi?cetakartikel&1123717100>, diakses tanggal 23 Oktober 2016)
- [12]. Ramdja, A.F., Mirah Halim, Jo Handi. 2008. Pembuatan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa (Cocus Nucifera). Jurnal Teknik Kimia. Vol. 15 No.2.
- [13]. Ruthven, Douglas M. 1984. Principles of Adsorption and Adsorption

- Processes. Kanada : Published Simultaneously.
- [14]. Seadi, teodorita Al, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Kottner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen. 2008. Biogas Handbook. Denmark : University of Southern Denmark Esbjerg.
- [15]. Suprianti, Yanti., 2016. Pemurnian Biogas untuk Meningkatkan Nilai Kalor Melalui Adsorpsi Dua Tahap Susunan Seri Dengan Media Karbon Aktif. Jurnal ELKOMIKA. Vol. 4 No. 2 : 185-196.
- [16]. Susanto, H. Wijaya, W. dan Widiasta, I Nyoman., 2013. Modifikasi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Untuk Pemurnian Biogas. E-journal Universitas Diponegoro. Vol. 34 No.1.
- [17]. Suryawan, Bambang. 2004. Karakteristik Zeolit Indonesia Sebagai Adsorben Uap Air. Disertasi. Jakarta : FTUI Depok.
- [18]. Sudibandriyo, M. 2003. A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure on Carbon Adsorben. Desertation. Oklahama : Oklahama State University.