

# ANALISIS KINERJA PEMURNIAN GAS KARBON MONOKSIDA DENGAN FILTER ZEOLITE DALAM REAKTOR BIOGAS SKALA LABORATORIUM TERHADAP PRODUKSI BIOGAS

## PERFORMANCE ANALYSIS OF CARBON MONOXIDE GAS PURIFICATION WITH ZEOLITE FILTER IN BIOGAS REACTOR OF LABORATORY SCALE TO PRODUCTION OF BIOGAS

Maulana Afchor Aulia<sup>1</sup>, Amaliyah Rohsari Indah Utami, S.T., MSI<sup>2</sup>, Ahmad Qurtobi, S.T., MT<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi SI Teknik Fisika Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom  
Jl. Telekomunikasi No.1, Bandung, Indonesia, Telp. (022) 7564108  
<sup>1</sup>[maulanaafchoraulia@gmail.com](mailto:maulanaafchoraulia@gmail.com).

### Abstrak

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang dikembangkan untuk ketersediaan energi di masa akan datang. Telah dilakukan rancang bangun reaktor *anaerob* untuk menghasilkan biogas dalam proses fermentasi yang dilengkapi sensor pendeteksi konsentrasi gas karbon monoksida dan *filter zeolite* sebagai *treatment*. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis pengaruh performansi kinerja reaktor biogas *anaerob* berdasarkan parameter gas karbon monoksida dengan *filter zeolite* dan tanpa *filter zeolite* terhadap kemurnian biogas. Pada reaktor *anaerob* yang dikondisikan sebelum dan sesudah teradsorpsi *filter zeolite*, diisi campuran substrat kohe sapi dan limbah cair tahu dengan perbandingan volume 2:1 selama 15 hari. Hasil reaktor *anaerob singlestage* digunakan sebagai penghasil biogas dengan sistem reaktor *fixed domed* dan laju aliran substrat *batch feeding*. Hasil konsentrasi gas karbon monoksida pada reaktor mengalami penurunan perhari sebesar  $2 \times 10^{-4}\%$  (sebelum teradsorpsi) dan  $2,05 \times 10^{-4}\%$  (sesudah teradsorpsi) disebabkan kemampuan *filter zeolite* sebagai adsorben. Produksi gas metana meningkat secara signifikan dihari ke 9 sebesar 11,6896 % (sebelum teradsorpsi) dan sebesar 11,6910% (sesudah teradsorpsi). Rata-rata hasil gas metana sebelum teradsorpsi sebesar 10,7796%, sedangkan rata-rata gas metana setelah teradsorpsi sebesar 10,7824%. Perubahan konsentrasi gas karbon monoksida tidak mempengaruhi waktu retensi dan jumlah gas metana pada produktivitas biogas, tetapi berpengaruh pada kemurnian gas metana. Dari data tersebut menunjukkan hasil konsentrasi gas metana pada reaktor *anaerob* mengalami kemurnian setelah dilakukan proses adsorpsi menggunakan *filter zeolite*.

**Kata kunci:** Biogas, Metana, Karbon Monoksida, Limbah Kotoran Sapi, Limbah Cair Tahu.

### Abstract

Biogas is one of the alternative energy that is developed for the availability of energy in the future. Reactor design has been done to produce biogas in anaerobic fermentation process that has sensors detecting concentration of carbon monoxide gas and zeolite filter as treatment. The purpose of this study is to know the effect performance of biogas reactor anaerob based on parameter carbon monoxide gas on the biogas productivity. Anaerobic reactor regulated and unregulated carbon monoxide, filled with mixture of cow dung and tofu liquid waste with volume ratio of 2:1 for 15 days. In this research, singlestage anaerobic reactor used for produce biogas as a fixed dome reactor system and batch feeding for flow rate of the substrate. Results of the concentration of carbon monoxide gas in the reactor has decreased of  $2.6 \times 10^{-4}$  per day% (before adsorbed) and  $2.05 \times 10^{-4}\%$  (after adsorbed) caused the ability of zeolite as an adsorbent filter. Methane gas production increased significantly on the day to 9 of 11.6896% (before adsorbed) and amounted to 11.6910% (after adsorbed). The average results before the adsorbed methane gas by 10.7796%, while the average after the adsorbed methane gas by 10.7824%. Changes in the concentration of carbon monoxide gas does not affect the retention time and the amount of methane in the biogas productivity, but the effect on the purity of methane gas. From these data show the results of the concentration of methane gas in anaerobic reactor suffered purity after performed the adsorption process using zeolite.

**Keywords:** Biogas, Methane, Carbon Monoxide, Cow Manure, Tofu Waste Water.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi masih didominasi oleh bahan bakar minyak (BBM) sebesar 35,8% [1]. Eksploitasi bahan bakar minyak dapat menyediakan energi yang murah, namun hal ini akan mengakibatkan cadangan energi fosil yang ada di bumi terus berkurang. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan energi alternatif untuk menunjang ketersediaan energi di masa yang akan datang. Salah satu solusi untuk permasalahan energy tersebut adalah penggunaan biogas, yakni dengan memanfaatkan limbah kotoran sapi sebagai bahan baku utama dalam pembuatannya. Energi biogas layak untuk digunakan baik secara teknik, sosial, maupun ekonomi.

Biogas merupakan energi terbarukan yang dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri yang hidup pada kondisi *anaerob* seperti limbah tahu, limbah rumah tangga, kotoran hewan, dan kotoran manusia. Namun, sebagai energi alternatif, biogas masih belum mendapatkan hasil yang optimal pada saat memanfaatkan proses fermentasi dari

bahan organik secara *anaerob* oleh bakteri dengan rasio C/N yang tepat dalam pembuatannya [2]. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi produktivitas bakteri dalam pemurnian biogas merupakan reaktor, karena pada umumnya pengembangan teknologi biogas masih memiliki beberapa kendala antara lain yaitu reaktor tidak berfungsi akibat kesalahan konstruksi, disain tidak *user friendly*, membutuhkan penanganan secara manual, dan kekurangan *technical expertise*. Permasalahan reaktor ini sangat perlu diperhatikan terutama disain reaktor yang tidak *user friendly*, karena dapat menghambat produksi gas metana saat proses pembentukan biogas [4].

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dilakukan penelitian dengan merancang bangun reaktor *anaerob* skala laboratorium dengan tipe *fixed dome* dan *batch feeding* yang dilengkapi sensor pendeteksi gas karbon monoksida dan *filter zeolite*. Dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh performansi kinerja reaktor *anaerob* dalam menghasilkan kemurnian biogas dan menjaga kondisi konsentrasi gas karbon monoksida sebagai gas beracun tetap kurang dari 0,2%, karena akan menghambat bakteri dalam fermentasi jika melebihi yang diizinkan [5]. Sehingga dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memurnikan hasil biogas dengan menambahkan *filter zeolite* dalam perancangan reaktor biogas skala laboratorium sebagai penghasil energi terbarukan.

## 2. Metodologi

Pengamatan dilakukan selama 15 hari. Dalam waktu 15 hari diamati nilai konsentrasi gas karbon monoksida pada kedua reaktor identik. Pada reaktor *anaerob*, dilakukan pengukuran gas karbon monoksida sebelum dan sesudah terabsorpsi *filter zeolite* pada pukul 09.00. Gas karbon monoksida di ukur dari hasil pembacaan sensor gas karbon monoksida tipe MQ-7 pada reaktor *anaerob*.

Metode yang digunakan dalam penelitian merupakan pengaruh *filter zeolite* dalam perancangan reaktor biogas skala laboratorium terhadap konsentrasi gas karbon monoksida dengan bahan baku utama campuran kotoran sapi dan limbah cair tahu, dengan studi literatur untuk memahami teori-teori yang berhubungan dengan gas karbon monoksida. Setelah itu, dilakukan eksperimen untuk membuktikan hubungan antara studi literatur dan eksperimen.

Reaktor yang digunakan pada penelitian merupakan reaktor skala laboratorium dengan ukuran yang sudah ditentukan, volume total reaktor 6 liter dengan campuran substrat sebesar 4,5 liter dan diameter dalam reaktor sebesar 6 inch dan tinggi 33 sentimeter. Reaktor dilengkapi jaket penghangat dan sirkulasi air hangat untuk mengondisikan suhu substrat yang terdapat didalam reaktor tetap terjaga di kondisi suhu 35°C.

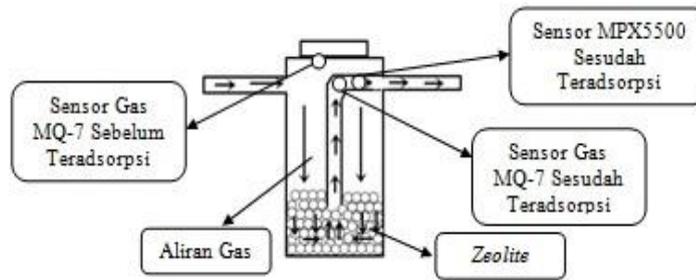


**Gambar 1** Rancangan Reaktor *Multistage* Tiga Dimensi



**Gambar 2** Implementasi Reaktor *Anaerob* Skala Laboratorium

Reaktor ini dilengkapi dengan sistem *filter zeolite* dengan bahan tabung PVC kedap udara yang terisi *zeolite* dengan tujuan mengetahui nilai konsentrasi gas karbon monoksida sebelum dan sesudah teradsorpsi saat campuran substrat kotoran sapi dan limbah cair tahu berproduksi untuk menghasilkan biogas.



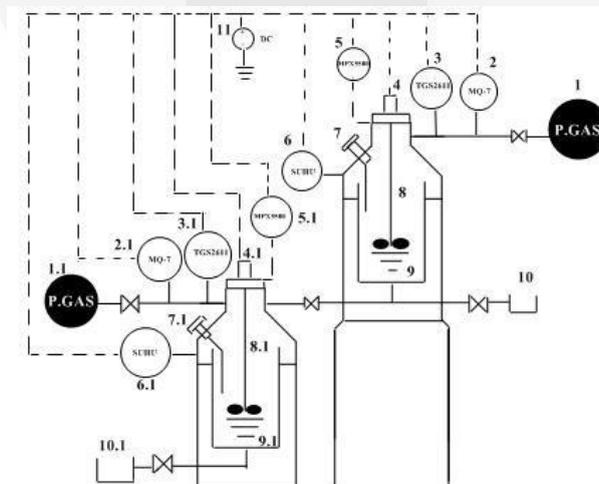
**Gambar 3** Proses Alir Hasil Gas pada *Filter Zeolite*

Pada reaktor *anaerob* juga dilengkapi sistem injeksi yang dilengkapi dengan *Gate Valve* agar tidak ada udara yang keluar masuk saat larutan  $\text{CaCO}_3$  diinjeksi kedalam reaktor. Pada gambar 4 menunjukkan sistem injeksi pada reaktor *anaerob*.



**Gambar 4** Sistem injeksi larutan  $\text{CaCO}_3$ .

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah limbah kotoran sapi yang dicampur limbah cair tahu dengan perbandingan 2:1 (3 kotoran sapi liter dan 1,5 liter limbah cair tahu) sebagai penghasil biogas, disertai tambahan zat cair kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) sebagai penstabil pH agar tetap dikondisi yang diizinkan dan *zeolite* yang berfungsi untuk menyerap konsentrasi gas karbon monoksida.



**Gambar 5** Rancangan Reaktor *Anaerob*

Gambar 5 menunjukkan *Piping* dan *Instrument Diagram* sistem digester dengan *Instrument List* sebagai berikut :

- 1 dan 1.1 : Penampung gas
- 2 dan 2.1 : Sensor gas karbon monoksida
- 3 dan 3.1 : Sensor gas metana
- 4 dan 4.1 : Motor pengaduk
- 5 dan 5.1 : Sensor tekanan
- 6 dan 6.1 : Sensor suhu
- 7 dan 7.1 : Injeksi  $\text{CaCO}_3$
- 8 dan 8.1 : Ruang proses produksi gas
- 9 dan 9.1 : Tempat campuran kotoran sapi dan limbah cair
- 10 dan 10.1 : Penampung substrat untuk cek pH

Pengambilan data yang sudah dilakukan pada reaktor *anaerob* diolah kedalam komputer dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk dianalisis kinerja pemurnian gas karbon monoksida dengan *filter zeolite* dalam reaktor biogas skala laboratorium terhadap produksi biogas.

#### 4. Hasil

Data yang didapat dari hasil penelitian reaktor *singlestage anaerob* skala laboratorium, berikut hasil data hasil eksperimen :

##### A. Performansi Reaktor Anaerob Singlestage

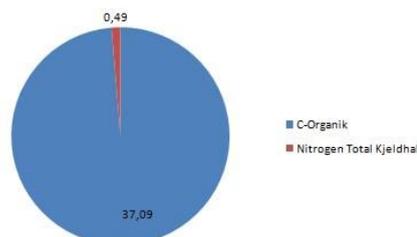
Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor *multistage* tidak dapat digunakan akibat substrat tidak dapat mengalir saat didalam saluran pipa penghubung reaktor proses hidrolisis dan reaktor proses metanogenesis. Pada penelitian berikutnya reaktor yang digunakan pada penelitian biogas ini adalah reaktor *anaerob singlestage* karena aliran substrat tidak mengalir dari reaktor hidrolisis menuju reaktor metanogenesis yang disebabkan gaya geser yang merata di dalam pipa, sehingga menghasilkan kerugian aliran seperti substrat terhambat. Dapat dilihat pada gambar 6 menunjukkan rancang bangun reaktor *anaerob singlestage*.



Gambar 6 Rancang Bangun Reaktor *Anaerob Singlestage*

##### B. Karakteristik Substrat

Karakteristik bahan sangat penting untuk mengetahui nilai gizi pada substrat, gambar 7 menjelaskan hasil pengujian rasio C/N dari campuran kotoran sapi dan limbah cair tahu.



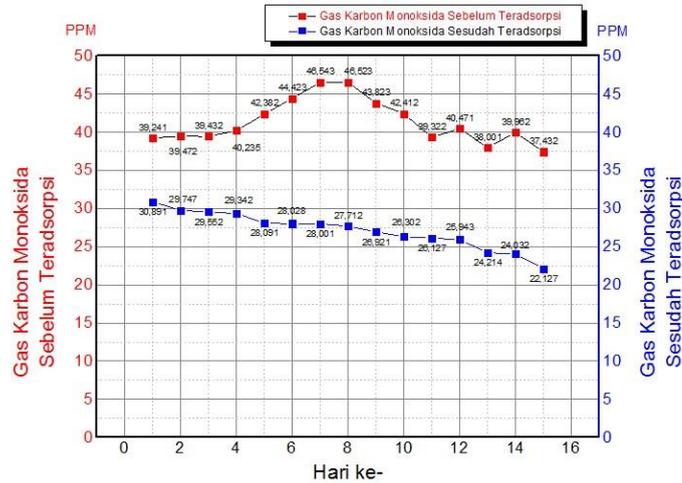
Gambar 7 Hasil Pengujian Rasio C/N Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu.

Hasil menunjukkan dari pengujian rasio C/N bahwa campuran substrat memperoleh nilai sebesar 37,09

C-Organik dan 0,49 Nitrogen Total Kjeldhal, dengan total 75,6938 yang melebihi kandungan dianjurkan yaitu 20-35, sehingga gas yang dihasilkan menjadi rendah. Hal tersebut disebabkan oleh campuran bahan baku yang memiliki tingkat keasaman tinggi, sehingga untuk mengatasi hal tersebut diperlukan pengondisian derajat keasaman (pH) dengan menambahkan larutan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang bersifat basa, agar menjaga rasio C/N tetap berada dikondisi yang diizinkan 20-35 [10].

**C. Hasil Pengondisian Gas Karbon Monoksida pada Reaktor Anaerob Skala Laboratorium**

Pada penelitian ini, dilakukan perbandingan hasil gas karbon monoksida yang sudah dikondisikan selama 15 hari pada reaktor yang diperlakukan khusus, yaitu pada R1 dilakukan penambahan *filter zeolite* pada sistem perancangannya agar mengetahui nilai konsentrasi gas karbon monoksida sebelum dan sesudah terabsorpsi oleh *filter zeolite*.



**Gambar 8** Grafik Perubahan Gas Karbon Monoksida Sebelum dan Sesudah Terabsorpsi *Filter Zeolite*

Pada gambar 8 menunjukkan perbedaan hasil kandungan gas karbon monoksida sebelum dan sesudah terabsorpsi *filter zeolite*. Gas karbon monoksida maksimal mencapai 10<sup>-3</sup>% pada hari ke-7 sebelum terabsorpsi, sedangkan setelah terabsorpsi mencapai 2 10<sup>-3</sup>%. Rata-rata gas karbon monoksida sebelum terabsorpsi sebesar 10<sup>-3</sup>% dengan rata-rata penurunan gas karbon monoksida 2 10<sup>-4</sup>% per-hari, sedangkan rata-rata gas karbon monoksida setelah terabsorpsi sebesar 10<sup>-3</sup>% dengan rata-rata penurunan gas karbon monoksida 10<sup>-4</sup>% per-hari.

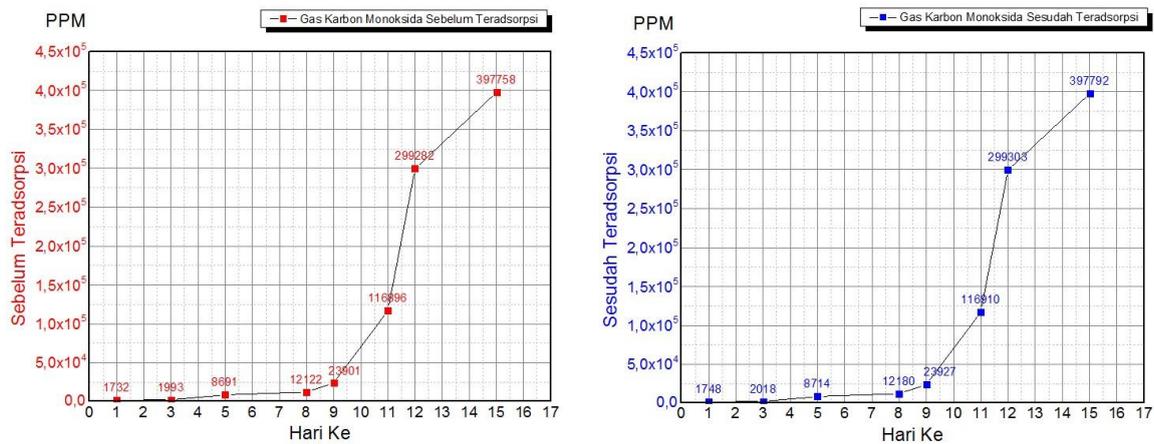
**E. Pengaruh Filter Zeolite Terhadap Kemurnian Biogas pada Reaktor Anaerob**

Pada penelitian ini, untuk memurnikan biogas dapat dilakukan proses absorpsi dengan menggunakan *filter zeolite* sebagai adsorbennya, karena memiliki kapasitas absorpsi cukup besar terhadap gas karbon monoksida setelah dilakukan aktivasi. Pada tabel 1 dapat diperoleh hasil data, bahwa batuan *zeolite* baik digunakan untuk proses absorpsi konsentrasi gas karbon monoksida karena mengalami penurunan sesudah mengalir melalui *filter zeolite* sehingga meningkatkan kemurnian biogas.

**Tabel 1** Kualitas Biogas dari Gas Karbon Monoksida Terabsorpsi *Filter Zeolite*

Hari Ke	R1 ( <i>Filter Zeolite</i> )			
	CO (Sebelum terabsorpsi) PPM	CO (Sesudah terabsorpsi) PPM	CH <sub>4</sub> (Sebelum terabsorpsi) PPM	CH <sub>4</sub> (Sesudah terabsorpsi) PPM
1	39,241	30,891	1732	1748
3	39,432	29,552	1993	2018
5	42,382	28,091	8691	8714
8	46,523	27,712	12122	12180
9	43,823	26,921	23901	23927
11	39,322	26,127	116896	116910
12	40,471	25,943	299282	299303
15	37,432	22,127	397758	397792

Dari hasil gas karbon monoksida terabsorpsi dapat dikatakan bahwa *filter zeolite* mampu untuk menurunkan konsentrasi gas karbon monoksida sehingga dapat memurnikan hasil gas metana dari keluaran reaktor *anaerob*. Dapat dilihat grafik hasil produksi metana yang sudah dilakukan penelitian selama 15 hari terlihat pada gambar 9.



**Gambar 9** Grafik (a) Produksi Gas Metana sebelum Teradsorpsi dan (b) Produksi Gas Metana Sesudah Teradsorpsi *Filter Zeolite* pada Reaktor *Anaerob*

Hasil grafik pada gambar 9 menunjukkan hasil konsentrasi gas metana mengalami peningkatan produksi selama 15 hari. Hasil konsentrasi gas metana pada keluaran reaktor mengalami kemurnian gas metana setelah gas karbon monoksida terabsorpsi *filter zeolite* pada produksi biogas. Hasil produksi gas metana maksimum pada hari ke 15 dan gas metana mulai meningkat secara signifikan di hari ke 9 sebesar 11,6896% (sebelum terabsorpsi) dan 11,6910% (sesudah terabsorpsi). Rata-rata hasil gas metana sebelum terabsorpsi sebesar 10,7796% dengan peningkatan 4,971975% per-hari, sedangkan rata-rata gas metana setelah terabsorpsi sebesar 10,7824% dengan peningkatan 4,9724% per-hari. Sehingga dari hasil data gas metana tersebut dapat disimpulkan bahwa jumlah produksi gas metana yang terus meningkat pada produktivitas biogas tidak dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi gas karbon monoksida, tetapi berpengaruh pada kemurnian gas metana yang dihasilkan saat fermentasi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini diperoleh kesimpulan :

1. Reaktor yang digunakan pada penelitian biogas adalah reaktor *anaerob singlestage* tipe *fixed dome* dan tipe aliran *batch feeding* dengan menggunakan bahan PVC (bagian luar) dan *stainless steel* (bagian dalam). Reaktor *singlestage* sudah dilengkapi sistem *filter zeolite* pada perancangannya dan sensor pendeteksi gas karbon monoksida tipe MQ-7 didalamnya.
2. Gas karbon monoksida mengalami penurunan akibat proses absorpsi *filter zeolite* pada produksi biogas dengan hasil rata-rata gas karbon monoksida sebelum terabsorpsi sebesar 10<sup>-3</sup>%, sedangkan rata-rata gas karbon monoksida setelah terabsorpsi sebesar 10<sup>-3</sup>%. Gas metana meningkat secara signifikan di hari ke 9 sebesar 11,6896% (sebelum terabsorpsi) dan 11,6910% (sesudah terabsorpsi). Rata-rata hasil gas metana sebelum terabsorpsi sebesar 10,7796%, sedangkan rata-rata gas metana setelah terabsorpsi sebesar 10,7824%. Hasil menunjukkan perubahan hasil konsentrasi gas karbon monoksida tidak dapat mempengaruhi jumlah produksi gas metana pada produktivitas biogas, tetapi berpengaruh pada kemurnian gas metana yang dihasilkan saat fermentasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marzan, A.I.(2012).*Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi*. Balai Besar Teknologi Energi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Hlm 20-21.
- [2] Gita, Khaerunnisa.dkk(2013).*Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas Dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Vol. 2, No.3, Hlm1-7.
- [3] Anugrah, A.S.(2010).*Produksi Biogas Dari Limbah Rumah Makan Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea Pada Perombakan Anaerob*. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [4] Widodo, T. W.(2006).*Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian.

- [5] Dieter, Deublein and Angelika, Steinhauser.(2013).*Biogas from Waste and Renewable Resource*, Tahun 2013, Hlm. 50-51.
- [6] Ahmad, Yamliha.(2013).*Pengaruh Ukuran Zeolite Terhadap Penyerapan Karbon Monoksida Pada Aliran Biogas*. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya.
- [7] Utami, A.R.I.(2010).*Analisis Peran Bahan Aditif Terhadap Produksi Biogas*. Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Noverber Surabaya
- [8] Ravanska, Alfaesaryantara.(2014).*Analisis Pengaruh Tekanan Internal Digester Anaerob Pada Produktivitas Biogas Campuran Kotoran Sapi dan Limbah Cair Tahu*. Program Studi S1 Teknik Fisika Universitas Telkom.
- [9] Aditya, Zulfa.(2011).*Uji Adsorpsi Gas Karbon Monoksida Menggunakan Zeolit Alam Malang dan Lampung*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Hlm 76.
- [10] Gery R.M.(2014).*Optimasi Produktivitas Gas Metana Pada Campuran Limbah Cair Tahu dan Kotoran Sapi Dengan Pengontrolan Derajat Keasaman (pH)*. Program Studi S1 Teknik Fisika Universitas Telkom.
- [11] Rani, C.M.(2014).*Analisis Efisiensi Dengan Penambahan Urin Sapi Dalam Produksi Biogas*. Program Studi S1 Teknik Fisika Universitas Telkom.
- [12] Mudhita, I.K.(2013).*Biokonversi Fases Ternak Ruminansia Melalui Digesti Anaerobik untuk Produksi Gas Bio dan Sluge*, Juristek, Vol.1, No.2, Hal 11-19
- [13] Subekti, Sri.(2011).*Pengolahan Limbah Cair Tahu menjadi Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [14] Putu, A.W.(2012).*Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Bahan Kering Terhadap Produksi dan Nilai Kalor Biogas Kotoran Sapi*. Teknik Mesin Universitas Udayana Bali.
- [15] Harahap, I.V.(2007).*Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenih Limbah Pertanian Terhadap Biogas yang Dihasilkan* Departemen Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara. USU Repository 2009.
- [16] Laili, Nur.(2012).*Pengaruh Pengaturan pH dan Pengaturan Operasional Dalam Produksi Biogas Dari Sampah*. Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya.
- [17] Mahfud, Risnansyah.(2012).*Pengaruh Penambahan Onggok Terhadap Produksi Gas Bio dengan Substrat Dasar Ekskreta Ayam*. Fakultas Peternakan, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [18] Wahab, Abdul.(2007).*Pengaruh Lama Fermentasi EM4 Terhadap Kadar Serat Kasar Padatan Kering Lumpur Organik Unit Gas Bio*. Fakultas Peternakan Universitas Brijwijaya.
- [19] Widaditama A.K.(2011).*Pengaruh Temperatur Terhadap Komposisi Karbon Pada Proses Reduksi Oksigen Hasil Karbonisasi Tempurung Kelapa*. Universitas Brijwijaya.
- [20] Husin, Amir.(2008).*Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Biofiltrasi Anaerob Dalam Reaktor Fixed - Bed*. Universitas Sumatra Utara Medan.
- [21] Nurkholis, H.(2011).*Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolite Alam*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Brijwijaya Malang.
- [22] Didit, Y.(2011).*Koefisien Gesek Pada Rangkaian Pipa Dengan Variasi Diameter dan Kekasaran Pipa*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri. Universitas Gunadarma Depok.