

## Purifikasi Biogas dengan Variasi Ukuran dan Massa Zeolit terhadap Kandungan CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>

Denny Widhiyanuriyawan, Nurkholis Hamidi, Candra Trimandoko\*  
Teknik Mesin Universitas Brawijaya Indonesia, MT Haryono, 167 – Malang (65145)  
– Indonesia  
E-mail: trimandoko@gmail.com

### Abstract

*Nowadays, the development of the renewable energy very rapidly. It is driven by the nature of the renewable energy that has been proven to be cleaner than conventional energy, so an increase in the use of renewable energy continues to rise. Biogas is produced from biological processes (anaerobic digester) is capable of producing gas such as CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, and other gases. Therefore it is very important to make the process of refining the biogas. In this research, using the biogas purification process purification method stratified, with a solution of sodium hydroxide with zeolite is purified again and again purified with activated charcoal, hence the storied purification. In this study focused on the observation of zeolite as an adsorbent, the size of the fine and coarse zeolite, and zeolite are varied mass of 50 grams, 100 grams and 150 grams. In 60 minutes, the best result obtained on zeolites fine size with a mass of 150 grams of CO<sub>2</sub> obtained down to 4.07%, but the pressure dropped to 0.65 kPa. With the size of the coarse zeolite at 4.26% CO<sub>2</sub>, with a pressure drop of 0.84 kPa. After the purification process, zeolite proved to be hidrofili with the content of the zeolite fine biggest water with 5.4%.*

**Keywords :** Zeolite, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, biogas purification, gas pressure.

### PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan mengenai energi terbarukan (*renewable energy*) sangatlah pesat. Hal ini didorong oleh sifat energi terbarukan yang telah terbukti lebih bersih dari energi konvensional, sehingga peningkatan dalam penggunaan energi terbarukan terus meningkat. Secara sederhana energi terbarukan didefinisikan sebagai energi ramah lingkungan yang berasal dari proses alam dan dapat digunakan secara berkelanjutan. Biogas merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat berpotensi untuk dikembangkan dan terjamin kontinuitasnya [1].

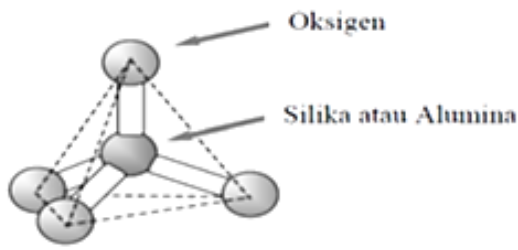
Biogas berasal dari bahan – bahan organik yang difermentasikan oleh aktivitas anaerobik dari bakteri metana yang didapatkan dengan cara metanogen seperti *Methanobacterium* sp. Metanogen sendiri adalah sebuah proses yang terakhir pada rantai mikro-organisme yang lebih rendah dekomposisi bahan organik dan kembali produk ke lingkungan. Dalam proses terbentuknya, biogas berlangsung dalam keadaan tertutup [2].

Dari aktivitas anaerobik oleh bakteri metana, biogas mampu menghasilkan gas – gas seperti CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan gas – gas lain. Dalam hal ini tentu saja yang dimanfaatkan adalah gas metana (CH<sub>4</sub>), karena CH<sub>4</sub> mempunyai nilai kalor yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Dekomposisi anaerob tersebut menghasilkan biogas yang terdiri dari CH<sub>4</sub> (55 – 75%), CO<sub>2</sub> (25 – 45%), N<sub>2</sub> (0 – 0.3%), O<sub>2</sub> (0.1 – 0.5%), H<sub>2</sub>S (0.1 – 3%), dan H<sub>2</sub> [3].

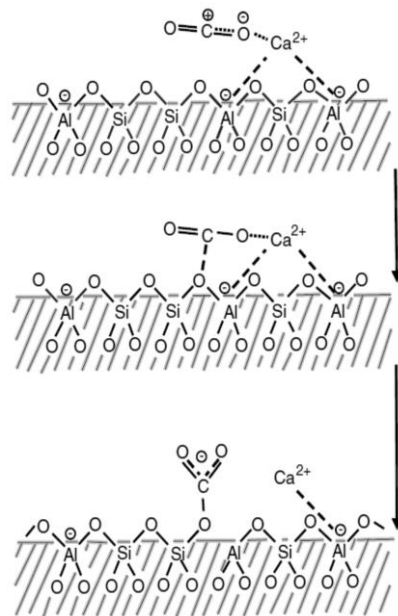
Kemurnian dari CH<sub>4</sub> yang dihasilkan oleh biogas akan menjadi sangat penting, dikarenakan CH<sub>4</sub> tersebut akan sangat berpengaruh terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Sehingga CH<sub>4</sub> yang dihasilkan perlu dilakukan pemurnian terhadap impuritas – impuritas yang lain [4]. Impuritas yang sangat berpengaruh terhadap nilai kalor pada biogas adalah CO<sub>2</sub>, keberadaan CO<sub>2</sub> dalam biogas sangat tidak diharapkan, hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub> dalam biogas maka akan semakin menurunkan nilai kalor CH<sub>4</sub> yang sangat mengganggu dalam proses pembakaran [5].

Metode pemurnian biogas adalah dengan melakukan absorpsi pada larutan

kimia dan adsorpsi pada permukaan padat. Salah satu contoh absorpsi menggunakan larutan kimia adalah dengan larutan NaOH, dimana biogas dilewatkan pada larutan NaOH, sehingga terjadi reaksi antara zat pelarut dan zat yang terlarut [6]. Metode adsorpsi pada permukaan padat adalah salah satu metode yang efektif sebagai penyerap gas. Salah satunya yaitu dengan menggunakan batu zeolite [7], dalam prosesnya, adsorpsi pada biogas berlangsung pada pori – pori zeolit.



Gambar 1. Struktur TO4 Kimia Zeolit [8].



Gambar 2. Mekanisme adsorpsi CO<sub>2</sub> oleh zeolit [9]

Afinitas zeolit untuk beberapa gas disebabkan oleh polaritas molekul yang teradsorpsi. Molekul-molekul yang memiliki momen quadrupole permanen besar mungkin berinteraksi kuat dengan gradien medan listrik yang disebabkan oleh pergerakan kation dari zeolit. Saat quadrupole gas tertentu bervariasi sebagai berikut: CO<sub>2</sub> > CO > N<sub>2</sub> > H<sub>2</sub> > CH<sub>4</sub> ≈ Ar ≈ Kr [9].

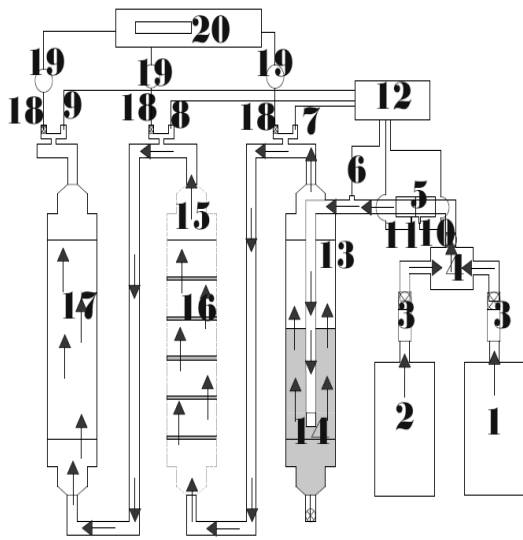
Penyerapan zeolit pada CO<sub>2</sub> ditunjukkan oleh Gambar 2, karena polaritas yang dimiliki CO<sub>2</sub> dimana atom O dengan muatan negatif cenderung mendonorkan muatan elektronnya pada kation – kation zeolit yang bermuatan positif pada permukaan zeolit (Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>). Sementara kation – kation pada zeolit terlebih dahulu ditarik oleh muatan oksigen pada struktur SiO<sub>4</sub> atau AlO<sub>4</sub>, sehingga atom C pada CO<sub>2</sub> menjadi tidak stabil karena atom O mendonorkan elektronnya, sehingga C cenderung ditarik dan berikatan dengan salah satu atom O pada struktur SiO<sub>4</sub> atau AlO<sub>4</sub> [8].

**METODE PENELITIAN**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *experimental research*. Dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Teknik Mesin, Universitas Brawijaya. Pada penelitian ini akan diuji pengaruh massa zeolit terhadap kandungan gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dalam proses purifikasi gas secara bertingkat dan kontinyu. Biogas yang digunakan merupakan campuran dari volume gas CH<sub>4</sub> sebesar 80 % dan volume gas CO<sub>2</sub> sebesar 20 % yang dicampur dengan *gas mixer* dan dialirkan secara kontinyu pada sebuah sistem yang bertingkat. tabung akrilik dengan diameter 11 cm. Untuk instalasi penelitian yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.

Sistem terdiri dari 3 tabung akrilik dengan diameter 11 cm, tabung 1 berisi larutan NaOH 30 % dengan jumlah lubang *bubble* 30 sebagai absorben, tabung 2 berisi zeolit yang disusun dengan *layer* yang divariasikan massanya sebesar 50 gram, 100 gram, dan 150 gram dengan jenis ukuran zeolit *coarse* dan *fine* yang dipanaskan

terlebih dahulu selama 120 menit pada temperatur 105°C, tabung 3 berisi arang aktif 500 gram. Gas dialirkan pada sistem dan diukur kadar CO<sub>2</sub> menggunakan *Stargas analyzer*. Sementara tekanan pada gas diukur menggunakan *transducer* tekanan MPX 2010 GS dan di *record* dalam *data logger*. Sebelum dan setelah proses purifikasi kandungan kadar air dalam zeolit diuji menggunakan *moisture analyzer*.



Keterangan :	
1. Tabung Gas CH <sub>4</sub>	11. <i>Tranducer</i> 5
2. Tabung Gas CO <sub>2</sub>	12. <i>Data Logger</i>
3. <i>Flowmeter</i>	13. Tabung NaOH
4. <i>Gas mixer</i>	14. Bubble Generator
5. <i>Orifice</i>	15. Tabung Zeolit
6. <i>Tranducer</i> 0	16. Layer Zeolit
7. <i>Tranducer</i> 1	17. Tabung Arang Aktif
8. <i>Tranducer</i> 2	18. Katup Sampel Gas
9. <i>Tranducer</i> 3	19. Kantong Gas
10. <i>Tranducer</i> 4	20. <i>Stargas Analyzer</i>

**Gambar 3.** Instalasi penelitian

Langkah pengujian pada penelitian yaitu pertama alirkan gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> ke dalam *flowmeter* dengan persentase debit 80%:20%. Kemudian gas akan tercampur pada *gas*

*mixer* dan debit gas yang mengalir ke sistem diukur pada *orifice*. Pertama zeolit *coarse* yang digunakan dengan massa 50 gram, setiap 5 menit ambil gas pada kran sampel dengan kantong secar bersama – sama selama 60 menit. Setelah pengujian selesai uji kadar CO<sub>2</sub> pada kantong gas dengan menggunakan *stargas analyzer*. Sesudah data dengan zeolit *coarse* 50 gram selesai lakukan pengambilan data dengan zeolit *coarse* 100 gram dan 150 gram. Kemudian lakukan pengujian menggunakan zeolit *fine* dengan massa 50 gram, 100 gram dan 150 gram.

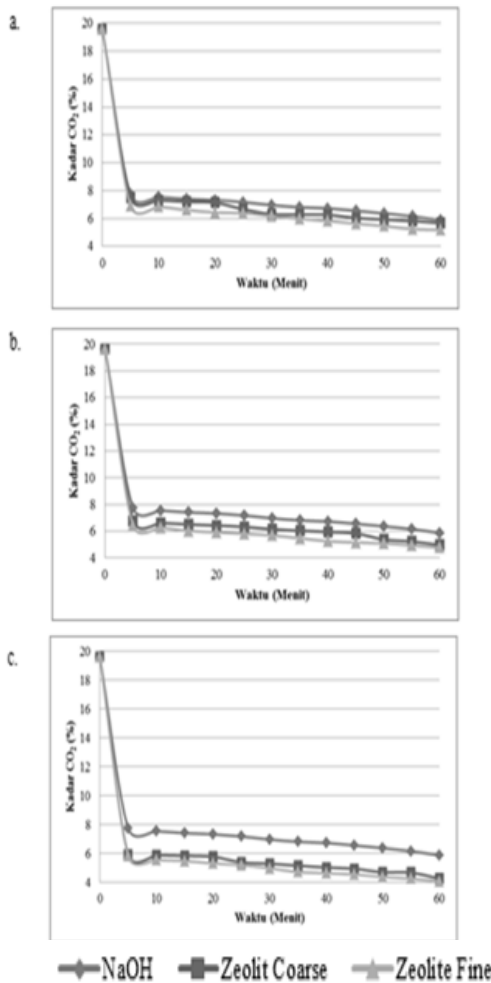
Selama 60 menit pengujian berlangsung tekanan gas secara otomatis akan terukur pada *transducer* tekanan MPX 2010 GS dan di *record* dalam *data logger*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada Gambar 4 a, b, dan c di atas adalah Gambar yang menunjukkan hubungan waktu terhadap penurunan kadar gas CO<sub>2</sub> pada proses purifikasi menggunakan dua adsorben, yaitu larutan NaOH dan zeolit selama 60 menit. Gambar 4 a menunjukkan penurunan kadar CO<sub>2</sub> dari volume awal yaitu 19.6 % yang turun menjadi 7.74 % setelah melalui larutan NaOH atau NaOH mengurangi 60.05 % dari volume awal CO<sub>2</sub>. Massa zeolit dengan ukuran *coarse* pada garis yang berwarna merah dan zeolit ukuran *fine* dengan massa 50 gram yang digunakan sebagai adsorben lanjutan setelah melewati larutan NaOH. Kadar CO<sub>2</sub> akan turun setelah melalui zeolit *coarse* sebesar 0.23 % dari 7.74 % pemurnian yang dilakukan NaOH, sementara zeolit *fine* menurunkan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 0.83 % dari pemurnian yang dilakukan oleh NaOH.Semakin lama waktu purifikasi maka, kemurnian dari CH<sub>4</sub> akan semakin baik, dikarenakan semakin banyak CO<sub>2</sub> yang akan terserap secara kontinyu pada rongga – rongga zeolit.

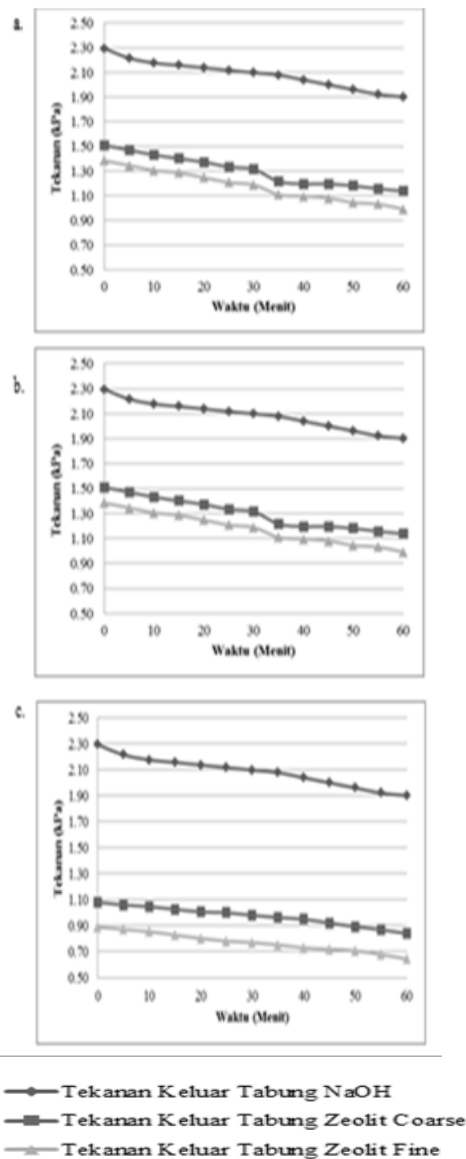
Gambar 4 b menunjukkan massa zeolit *coarse* dan *fine* yang ditambah menjadi 100 gram, dengan penambahan massa zeolit *coarse* membuat kadar CO<sub>2</sub> turun sebesar 0.73 % sampai dengan 1.04 %, zeolit *fine*

menurunkan kadar CO<sub>2</sub> sebesar 1.1 % sampai dengan 1.32 % dari pemurnian yang dilakukan NaOH, penurunan kadar CO<sub>2</sub> ini dikarenakan luas bidang kontak zeolit pada CO<sub>2</sub> akan menjadi lebih banyak dengan massa zeolit yang ditambah.



**Gambar 4.** Hubungan waktu terhadap kadar CO<sub>2</sub> setelah dengan zeolit *coarse* dan *fine* pada (a) massa 50 gram, (b) massa 100 gram, dan (c) massa 150 gram

Gambar 4 c menunjukkan penambahan massa zeolit menjadi 150 gram, dengan 150 gram zeolit menambah kemurnian CH<sub>4</sub> dengan menurunkan kadar CO<sub>2</sub> hingga 4.26 % pada zeolit *coarse* dan 4.19 % pada zeolit



**Gambar 5.** Grafik hubungan waktu terhadap tekanan gas dengan zeolit *coarse* dan zeolit *fine* pada (a) massa 50 gram, (b) massa 100 gram, dan (c) massa 150 gram.

*fine*. Hal ini membuktikan bahwa dengan semakin banyak massa zeolit yang digunakan sebagai adsorben CO<sub>2</sub> akan semakin baik, dikarenakan luasan bidang kontak terhadap gas CO<sub>2</sub> semakin bertambah. Selama 60

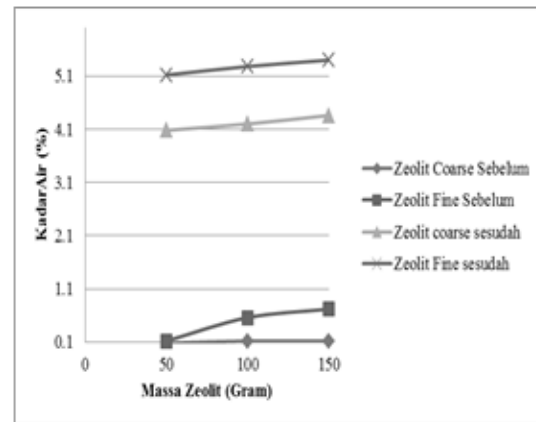
menit kadar kemurnian CH<sub>4</sub> semakin baik, dengan menurunnya kadar CO<sub>2</sub> yang terserap secara kontinyu oleh zeolite. Gambar 5 a menunjukkan bahwa dengan zeolit *coarse* dan *fine* dengan massa sebesar 50 gram, tekanan gas keluar dari tabung zeolite *coarse* sebesar 1.51 kPa hingga 1.14 kPa dan tekanan gas keluar tabung zeolit *fine* sebesar 1.38 kPa sampai dengan 0.99 kPa, ini membuktikan bahwa dalam 60 menit gas CO<sub>2</sub> terserap oleh zeolit yang mengakibatkan tekanan pada tabung purifikasi zeolit menurun.

Gambar 5 b menunjukkan bahwa penurunan tekanan pada zeolite *coarse* dan *fine* yang divariasikan sebesar 100 gram, dengan persentase kadar CO<sub>2</sub> yang lebih baik dari kadar zeolit 50 gram. Pada Gambar 5 b membuktikan bahwa penurunan tekanan pada output zeolit lebih turun dari tekanan output tabung zeolit pada Gambar 5 a, hal ini menunjukkan bahwa gas CO<sub>2</sub> yang terserap pada zeolit lebih banyak dengan tekanan yang terukur pada output tabung zeolit *coarse* sebesar 1.31 kPa sampai dengan 1.02 kPa dan tekanan pada output menggunakan zeolit *fine* sebesar 1.13 kPa sampai dengan 0.84 kPa.



**Gambar 6.** (a) Zeolit sebelum purifikasi dan (b) Zeolit setelah purifikasi

Selain penurunan kadar pada CO<sub>2</sub> yang diukur oleh stargas dan penurunan tekanan gas yang diukur dengan transducer, terjadinya penyerapan CO<sub>2</sub> oleh zeolit ditunjukkan oleh Gambar 6 a dan b, pada Gambar 6 b terlihat warna pada zeolit lebih keruh atau kusam jika dibandingkan dengan Gambar 6 a.



**Gambar 7.** Hubungan massa zeolit *coarse* dan *fine* terhadap kadar air untuk zeolit sebelum dan sesudah purifikasi

Gambar 7 di atas menunjukkan hubungan antara massa zeolit dan persentase kadar air, terlihat bahwa kadar air yang terdapat pada zeolit sebelum dipanaskan berada pada nilai dibawah 1% atau kadar air yang tertinggi pada zeolit fine dengan massa 150 gram sebesar 0.72 %. Setelah proses purifikasi, zeolit mengalami penyerapan kadar air yang nilainya lebih besar daripada kadar air sebelum purifikasi dengan kadar air terendah sebesar 0.08 % pada zeolit coarse dengan massa 50 gram dan kadar air tertinggi pada zeolit fine dengan massa 150 gram sebesar 5.4 %. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air yang terserap oleh zeolit mempengaruhi penyerapan CO<sub>2</sub> oleh zeolit. Namun dengan penyerap air oleh zeolit dapat menyempurkan penyerapan CO<sub>2</sub> pada purifikasi bertingkat.

### KESIMPULAN

1. Dengan pemberian, dan penambahan massa zeolit selama 60 menit, maka kandungan CO<sub>2</sub> yang berhasil diserap oleh adsorben akan semakin banyak, dengan kadar CO<sub>2</sub> terendah sebesar 4.26%.
2. Dengan menggunakan zeolit dengan ukuran halus (*fine*) penyerapan CO<sub>2</sub> lebih baik jika dibandingkan dengan ukuran *coarse*, dengan kadar zeolit terendah

- sebesar 4.19 %.
3. Terserapnya gas CO<sub>2</sub> oleh adsorben membuat tekanan gas menurun, dengan dsorben zeolit *coarse* tekanan gas terendah sebesar 0.84 kPa, sedangkan zeolit *fine* tekanan gas terendah sebesar 0.65 kPa.
  4. Penggunaan zeolite sebagai adsorben selain berfungsi sebagai penyerap CO<sub>2</sub> juga berfungsi untuk menyerap air dengan kadar air tertinggi terdapat pada zeolit fine 150 gram dengan 5.4 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kapdi, SS., Vijay, V.K., Rajesh, S.K., Prasad, Rajendra. 2004. *Biogas Scrubbing*, Compression and Storage: Perspective and Prospectus in Indian Context. Centre for Rural Development and Technology, Indian Institute of Technology, New Delhi 110 016, India.
- [2] Widhiyanuriyawan, Denny, Hamidi, Nurkholis. 2013. Variasi Temperatur Pemanasan Zeolite alam-NaOH Untuk Pemurnian Biogas. *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol.6, No.1, April 2013: 53-63.
- [3] Price, E.C and Cheremisinoff, P.N. 1981. *Biogas Production and Utilization*. Ann Arbor Science Publishers, Inc. United States of America.
- [4] Widhiyanuriyawan, Denny. 2014. Biogas Purification Using Natural Zeolite and NaOH. *Applied Mechanics and Materials*. 664: 415 – 418.
- [5] Sugiarto., Oerbandono, Tjuk, Widhiyanuriyawan, Denny., Putra, Faruq Syah Permana. 2012. Purifikasi Biogas Sistem Kontinyu Menggunakan Zeolit. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.4, No.1 Tahun 2013 1-10.
- [6] Prasetya, andhika, Widhiyanuriyawan, Denny., Sugiarto. 2012. Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Kandungan Gas CO<sub>2</sub> Dalam Proses Purifikasi Biogas Sistem *Continue*. Universitas Brawijaya.
- [7] Hamidi, Nurkholis, Wardana, ING, Widhiyanuriyawan, Denny. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian Dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol 2, No. 3 Tahun 2011: 227-231; Universitas Brawijaya.
- [8] Amrulloh Z.A, Hanif. 2014. Sintesis Zeolit Berbasis Silika Sekam Padi Dengan Metode Elektrokimia Sebagai Adsorben Rhodamin B. Universitas Lampung.
- [9] Bonenfant, Danielle. Kharuone, Mourad, Niquitte Patrick. 2008. Advances in Principal Factor Influencing Carbon Dioxide Adsorption on Zeolites. STEPPE École de Technologie Supérieure, Département de Génie de la Construction, 1100, Notre Dame Ouest, Montréal, QC, H3C 1K3, Canada.