

## APLIKASI DESAIN FAKTORIAL $2^3$ PADA KADAR $CO_2$ PROSES PURIFIKASI BIOGAS DENGAN ADSORBEN GENTENG - ZEOLITE

### Slamet Wahyudi

Kepala Laboratorium Energi Surya dan Terbarukan  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
slamet\_w72@ub.ac.id

### Muhammad Arif

Mahasiswa S1  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin

### Nafisah Arina Hidayati

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin

*The  $CO_2$  content in biogas is an impurity, so it needs to be reduced. One way to reduce the levels of  $CO_2$  in biogas is by purification with tile-zeolite adsorbents. The purpose of this study was to determine the use of tile - zeolite as an adsorbent in the purification process to reduce  $CO_2$  levels using a  $2^3$  factorial design. The use of tile powder adsorbents (25% and 75%) - Zeolite (75% and 25%), biogas flow rates of 1 and 6 liters/minute, which were investigated at intervals of 5 and 20 minutes, to collect  $CO_2$  content data. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS) is used to test the adsorption gas content. The results are shown by the Pareto curve resulting from biogas purification of  $CO_2$  levels, each of which has a magnitude of response to  $CO_2$  levels. Increased levels of tile-zeolite as an adsorbent and the rate of biogas flow in the purification process had an effect of reducing  $CO_2$  levels by 44.214%. Conversely, an increase in tile-zeolite levels as an adsorbent increases  $CO_2$  levels in the biogas purification process. Natural tile is a porous material that can adsorb and has ions that can be exchanged with ions from the outside.*

**Keywords:** Tile-Zeolite Adsorbents,  $CO_2$  Purification,  $CO_2$  Adsorption, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GCMS).

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan energi terbarukan (*renewable energy*) saat ini sangat pesat. Dikarenakan sifat energi terbarukan yang telah lebih bersih dari energi konvensional, sehingga peningkatan dalam penggunaan energi terbarukan terus meningkat. Energi terbarukan diartikan sebagai energi ramah lingkungan yang berasal dari proses alam dan dapat digunakan secara berkelanjutan. Pertiwiningrum, A., *et.al* [1] melaporkan bahwa salah satu energi terbarukan sangat berpotensi untuk dikembangkan dan terjamin kontinuitasnya adalah biogas.

Iriani, P., *et.al* [2] menjelaskan dalam penelitiannya bahwa produksi biogas dari kotoran sapi pada umumnya dilakukan dengan menggunakan teknik fermentasi anaerob satu tahap (di dalam satu digester). Bakteri pendegradasi senyawa organik kompleks yang membutuhkan suasana lingkungan lebih asam, berada pada satu digester dengan bakteri penghasil metana yang membutuhkan suasana pH lebih netral. Hal tersebut menyebabkan proses pendegradasian senyawa organik kompleks menjadi senyawa organik sederhana, atau yang disebut sebagai tahap asetogenesis, menjadi tidak optimal, karena pH proses asetogenesis terganggu. Demikian juga, pada proses pengubahan senyawa organik sederhana menjadi biogas disebut sebagai tahap metanogenesis turut mengalami kondisi serupa.

Pemurnian dan pembersihan biogas (purifikasi) ditujukan bagi upaya menaikkan efisiensi kalor agar berkualitas dalam penggunaannya menjadi bahan bakar gas terbarukan, serta menaikkan atau menambah besaran komposisi metana antara 4 - 20 % dibanding sebelumnya, dan bersamaan dengan itu menurunkan kandungan  $CO_2$ ,  $H_2O$  dan  $H_2S$ . Sadchikov, A.V, *et.al* [3] dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa semakin tinggi kadar  $CO_2$  maka akan menurunkan nilai kalor biogas yang berdampak pada proses pembakaran. Sebaliknya, semakin rendah kadar  $CO_2$  pada biogas maka semakin tinggi kadar  $CH_4$  sehingga kualitas biogas akan semakin baik, dan proses pembakarannya semakin baik.

Salah satu bahan adsorbent yang sering dipakai adalah zeolit yang merupakan mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai struktur kerangka tiga dimensi terbentuk dari tetrahedral  $[SiO_4]^{4-}$  dan  $[AlO_4]^{5-}$ . Abdullahi, *et.al* [4] menyatakan dalam penelitiannya bahwa pada struktur senyawa zeolit, tiap atom

Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang saling mempengaruhi dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat thermal zeolit. serta zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan gas CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dan H<sub>2</sub>O dalam biogas karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu.

Banyak penelitian untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> diantaranya Abdullahi, et.al [4], Gibson, J.A.A, et.al [5], Paolini, V., et.al [6], Dienullah, et.al [7], mereka menggunakan bahan zeolite sebagai adsorbent. Dalam penelitiannya mereka menyimpulkan bahwa penggunaan adsorbent zeolite sangat efektif menurunkan kadar CO<sub>2</sub> dikarenakan ketika biogas terikat pada suatu padatan dan membentuk suatu lapisan film pada permukaan padatan tersebut. Disamping itu Tiro dan Padang [8], Ritonga dan Masrukhi [9], dalam penelitiannya menggunakan zeolite dan karbon aktif sebagai adsorbent. Penggunaan zeolite dan karbon aktif tersebut sangat efektif untuk peningkatan kualitas biogas. Begitu juga Abdullah Saleh et.al [10] dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa penggunaan zeolite dan semen putih sebagai adsorbent dapat mengurangi kadar pengotor CO<sub>2</sub> didalam biogas sehingga kandungan gas metana didalamnya menjadi lebih bagus.

Penelitian tentang purifikasi biogas dengan pengaturan komposisi adsorbent genteng tanah liat – zeolite (GZ) terhadap penurunan gas CO<sub>2</sub> dengan mengaplikasikan desain faktor. Pemilihan bahan genteng sebagai campuran zeolite dikarenakan merupakan produk keramik dari bahan tanah liat atau lempung yang memiliki kandungan utama Si dan Al. Chouiki, et.al [11] dalam penelitiannya menyatakan bahwa mineral lempung sebagai adsorbent dapat dikategorikan sebagai montmorillonite karena mempunyai kemampuan mengadsorbsi tinggi, sifat liat yang tinggi, berkerut jika dikeringkan dan butirannya berkeping halus sehingga porositasnya meningkat. Hal ini akan mempengaruhi CO<sub>2</sub> hasil purifikasi. Disamping itu Nkodi, et.al [12], alhasan, et.al [13] dan Faugerit, et.al [14] dalam penelitian biogas menggunakan desain faktorial yang bertujuan untuk mengetahui parameter parameter utama yang berpengaruh pada kualitas biogas.

## 2. METODE DAN BAHAN

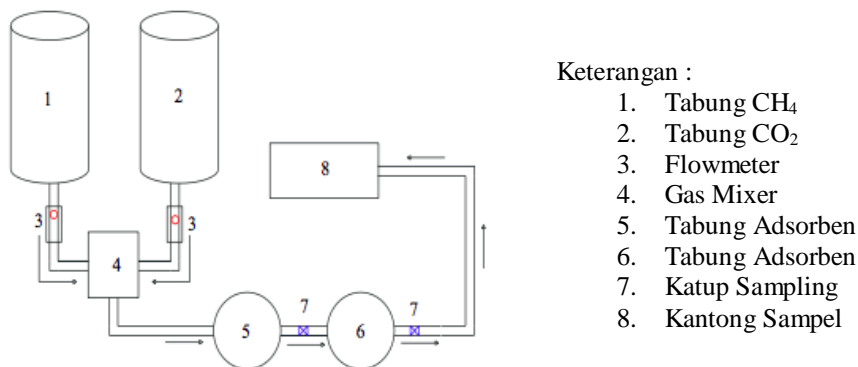
Metode penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengcoran Logam dan Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Penelitian ini menguji pengaruh komposisi genteng tanah liat - zeolit sebagai adsorbent terhadap kandungan gas CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> dalam proses purifikasi gas. Pada penelitian ini menggunakan adsorbent serbuk genteng tanah liat (25 dan 75 %) dan zeolit (75% dan 25%) dengan massa 400 gram. Biogas yang digunakan merupakan campuran dari 50 % gas CH<sub>4</sub> dan 50 % gas CO<sub>2</sub> yang dicampur dengan *gas mixer*.

Peralatan dan bahan antara lain: Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GCMS), neraca digital, ayakan rotap dan pengguncang rotap, tedlar bag untuk menampung sampel gas, flowmeter untuk mengatur laju aliran, stopwatch, serta regulator CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>. Hasil yang diidentifikasi adalah prosentase kadar CO<sub>2</sub> pada campuran CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub>, efektivitas adsorbsi

### 2.1 Prosedur Penelitian

Data yang diambil pada penelitian ini adalah % CO<sub>2</sub> dan % CH<sub>4</sub> dengan peralatan GCMS. Masucci and Cadwell [15], Capelle, D.W., et.al [16], dan Kolberg, et.al [17] menjelaskan prosedur pengambilan data % CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> menggunakan *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GCMS).



**Gambar 1.** Skema instalasi alat purifikasi biogas

Prosedur penelitian pengambilan data ditunjukkan pada gambar 1. Melakukan persiapan semua alat dan bahan seperti gambar 1 untuk pengambilan data dimulai dari tabung gas CH<sub>4</sub> (no. 1) dan CO<sub>2</sub> (no. 2) masing – masing 50% dengan membuka katup tabung gas mengalir keluar melalui selang yang sudah terhubung dengan *flowmeter* (no. 3) masing – masing bukaan *flowmeter* diatur pada debit 1 dan 6 Liter/menit. Masuk pada instalasi bagian purifikasi (no. 6 dan 7), disini dimasukkan variasi pertama serbuk genteng tanah liat (25%) – zeolite (75%) lalu tutup rapat bagian ini agar tidak ada gas bocor.

Pengambilan sampel dilakukan pada variasi waktu berbeda yaitu 5 dan 20 menit masukkan sampel pada tedlar bag. Setelah sampel serbuk genteng tanah liat (25%) – zeolite (75%) diambil ulangi langkah dengan menutup terlebih dahulu sumber gas kemudian mengganti serbuk genteng tanah liat (75%) – zeolite (25%) pada tabung purifikasi dengan variasi ukuran selanjutnya pada massa 200 gram. Analisis selanjutnya menggunakan Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GCMS), pada alat ini sampel dalam kantong gas diambil sebesar 5 ml untuk disuntikkan pada alat GCMS yang kemudian dilihat persentase kandungan gas CO<sub>2</sub> pada sampel.

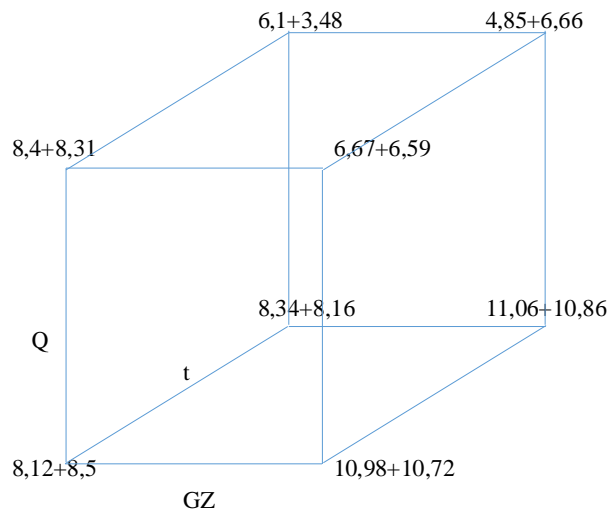
### 3. HASIL DAN DISKUSI

Data % penyerapan CO<sub>2</sub> setelah proses purifikasi dengan adsorben genteng - zeolit didapat dari Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GCMS), ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Skema desain factorial 2<sup>3</sup> dan % CO<sub>2</sub> setelah purifikasi biogas

Coding			GZ (%)	Q (L/menit)	t (menit)	(%) CO <sub>2</sub>	(%) CO <sub>2</sub>	$\bar{y}$
-	-	-	25	1	5	8,12	8,5	8,31
+	-	-	75	1	5	10,98	10,72	10,85
-	+	-	25	6	5	8,40	8,31	8,36
+	+	-	75	6	5	6,67	6,59	6,63
-	-	+	25	1	20	8,34	8,16	8,25
+	-	+	75	1	20	11,06	10,86	10,96
-	+	+	25	6	20	6,10	3,48	4,79
+	+	+	75	6	20	4,85	6,66	5,76

Lhanafi et.al [17], Shakib and Rashid [18] dalam penelitiannya menjelaskan pengolahan data dan analisa data menggunakan desain factorial. Dengan menggunakan data pada tabel 1 diperoleh kombinasi data desain faktorial 2<sup>3</sup> Gambar 2.



**Gambar 2.** Kombinasi data pada desain factorial 2<sup>3</sup>

Penggunaan desain faktorial 2<sup>3</sup> dilakukan untuk mengetahui respon pengaruh dari masing-masing faktor % Genteng-Zeolit (GZ), laju Aliran (Q) dan waktu proses purifikasi (t) terhadap % CO<sub>2</sub> hasil purifikasi biogas, ditunjukkan pada tabel 2 sebagai berikut :

**Tabel 2.** Pengolahan data dengan Desain factorial 2<sup>3</sup>

GZ	Q	T	GZ.Q	GZ.t	Q.t	Gz.Q.t	$\bar{y}$
-	-	-	+	+	+	-	8,31
+	-	-	-	-	+	+	10,85
-	+	-	-	-	-	+	8,36
+	+	-	+	+	-	-	6,63
-	-	+	+	+	-	+	8,25
+	-	+	-	-	-	-	10,96
-	+	+	-	-	+	-	4,79
+	+	+	+	+	+	+	5,76

Tabel 2, ditransformasi menjadi bentuk matrik, diperoleh Gambar 3,

$$\begin{bmatrix}
 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\
 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\
 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\
 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\
 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\
 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 B0 \\
 BGZ \\
 BQ \\
 Bt \\
 BGZQ \\
 BGZt \\
 BQt \\
 BGZQt
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 8,31 \\
 10,85 \\
 8,36 \\
 6,63 \\
 8,25 \\
 10,96 \\
 4,79 \\
 5,76
 \end{bmatrix}$$

**Gambar 3** Matrik desain faktorial 2<sup>3</sup>

Matrik desain faktorial 2<sup>3</sup> pada gambar 3 diselesaikan dengan bantuan metode matrik, diperoleh persamaan 1 yang disebut persamaan optimasi.

$$y = 7,988 + 0,561.GZ - 1,605Q - 0,549.t - 0,751.GZ.Q + 0,358GZ.t - 0,561Q.t + 0,315.GZ.Q.t \quad (1)$$

Koefisien model diperoleh dari persamaan 1, dan didapat Tabel 3 :

**Tabel 3** Koefisien model

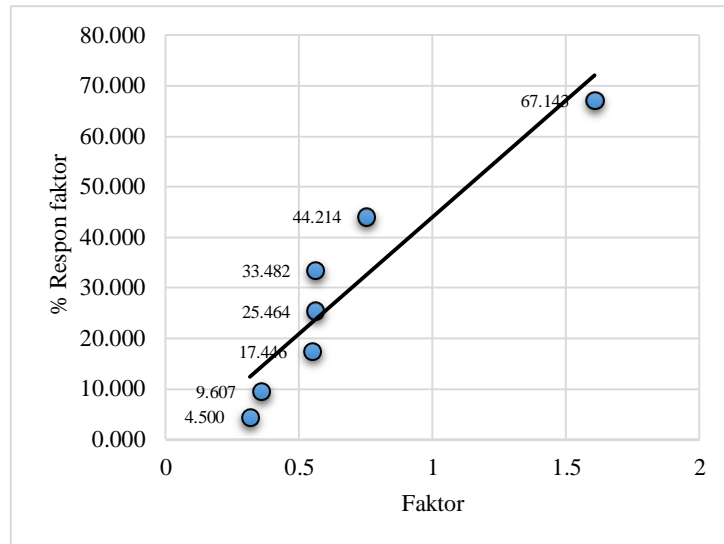
Respon rata-rata	Koefisien model linier			Koefisien model interaksi			
	B0	BGZ	BQ	Bt	BGZ.Q	BGZ.t	BQ.t
7,988	0,561	-1,605	-0,549	-0,751	0,358	-0,561	0,315

Keterangan:

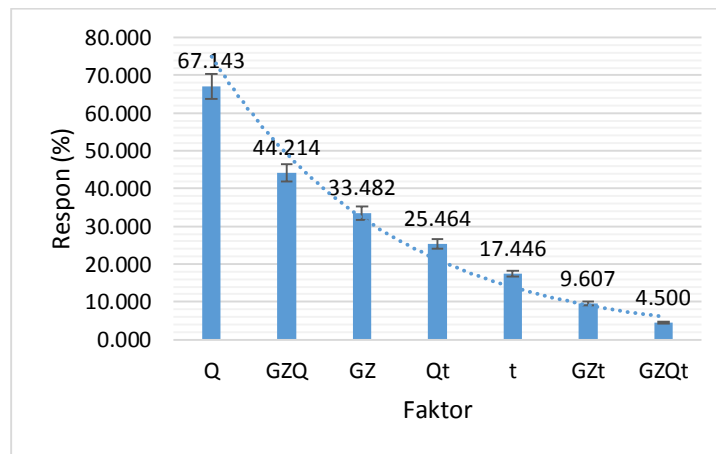
- y = % CO<sub>2</sub> purifikasi biogas
- GZ = Faktor Genteng – Zeolit (%)
- Q = Faktor laju aliran biogas (L/menit)
- t = Faktor lamanya proses (menit)
- GZQ = Interaksi Genteng – Zeolit dan Laju Aliran
- GZt = Interaksi Genteng – Zeolit dan waktu
- Qt = Interaksi Laju aliran dan waktu
- GZQt = Interaksi Genteng – Zeolit, Laju Aliran dan waktu

Persamaan (1) menjelaskan hubungan genteng – zeolite, laju aliran dan waktu proses purifikasi biogas serta interaksinya terhadap % CO<sub>2</sub>. Untuk adsorbent kadar Genteng (75%) - zeolite (25%) pada proses purifikasi biogas, kadar CO<sub>2</sub> lebih tinggi dari adsorbent kadar Genteng (25%) – Zeolit (25%), yang berarti penggunaan genteng pada adsorbent lebih efektif dengan kadar yang rendah. Begitu juga interaksi Genteng – zeolite dan waktu proses purifikasi biogas, penggunaan kadar genteng (25%) – zeolite (75%) pada adsorbent lebih efektif dibandingkan Genteng (75%) – zeolite (25%) untuk penurunan kadar CO<sub>2</sub>. Akan tetapi sebaliknya penggunaan adsorbent genteng (75%) – zeolite (25%) lebih efektif penurunan kadar CO<sub>2</sub> dibandingkan genteng (25%) – zeolite (25) dengan laju aliran biogas 1 dan 6 L/menit pada proses purifikasi.

Selanjutnya, untuk mengetahui prosentase respon dari faktor faktor yang mempengaruhi kadar CO<sub>2</sub> pada proses purifikasi biogas, dengan menggunakan kurva paretto, ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.



**Gambar 4.** Kurva Pareto dari % respon factor-faktor



**Gambar 5** Kurva Pareto % Respon factor-faktor

Efektivitas dalam penelitian ini terlihat seberapa besar kemampuan adsorben menyerap  $\text{CO}_2$  pada proses purifikasi biogas. Gambar 4 dan 5 merupakan kurva Pareto hasil purifikasi biogas penurunan kadar  $\text{CO}_2$ , masing-masing mempunyai besaran respon terhadap kadar  $\text{CO}_2$ . Peningkatan kadar genteng – zeolite sebagai adsorbent dan laju aliran biogas pada proses purifikasi mempunyai pengaruh penurunan kadar  $\text{CO}_2$  sebesar 44,214 %. Sebaliknya peningkatan kadar genteng – zeolite sebagai adsorbent meningkatkan kadar  $\text{CO}_2$  pada proses purifikasi biogas.

Penurunan kadar  $\text{CO}_2$  berhubungan dengan kemampuan adsorpsi serbuk genteng yaitu luas permukaan adsorber, semakin luas permukaan adsorber yang kontak dengan adsorbat maka nilai adsorpsi juga akan meningkat. Hal ini dikarenakan genteng sebagai tanah liat atau lempung, bahan dasar genteng, merupakan salah satu komponen tanah yang tersusun atas senyawa alumina silikat dengan ukuran partikel lebih kecil dari 2  $\mu\text{m}$ . Genteng alam merupakan material yang berpori sehingga memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi serta memiliki ion yang bisa dipertukarkan dengan ion dari luar. Begitu juga lempung memiliki luas permukaan yang spesifik dan porositas yang tinggi. Genteng memiliki sifat plastis bila dihaluskan dan dibasahi, keras dan kaku bila kering dan vitrous bila dibakar dengan suhu tinggi, sesuai dengan Ajibola, A.A.,et.al [20].

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang telah dilakukan pada penelitian ini, sebagai berikut:

1. Genteng – zeolite sebagai adsorbent pada proses purifikasi biogas mempunyai pengaruh terhadap penurunan kadar  $\text{CO}_2$
2. Interaksi genteng – zeolite dan laju aliran biogas proses purifikasi mempunyai respon terbesar (44,214 %) untuk penurunan  $\text{CO}_2$

3. Genteng alam merupakan material yang berpori sehingga memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi serta memiliki ion yang bisa dipertukarkan dengan ion dari luar.

## 5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penelitian ini Dilaksanakan atas biaya DIPA Tahun Anggaran 2019, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya berdasarkan kontrak Nomor: 41/UN10.F07/PM/2019 tanggal 22 April 2019

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PERTIWININGRUM, A., et.al, “Renewable Energy of Biogas Through Integrated Organic Cycle System in Tropical System”, *IntechOpen*.74497, pp 99 – 117, Feb.2018
- [2] IRIANI, P., et.al.”Fermentasi Anaerobik Biogas dua Tahap Dengan Aklimatisasi Dan Pengkondisian Ph fermentasi”, *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, v.1, n.1, pp. 1 – 10, Okt.2017
- [3] SADCHIKOV, A.V., et.al. “Use Of Natural Zeolite In Systems For Separation And Purification Of Gas Mixtures Containing Methane”, *Key Engineering Material*, v.736, pp.179-182, June 2017
- [4] ABDULLAHI, et.al” Comparative studies on the kinetics of biogas purification using activated Carbon and Zeolite”, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*,173 012046, pp. 1-14, 2018
- [5] GIBSON, J.A.A., et.al. “Studies on Biogas Purification using Activated Carbon and Zeolite Gibson et.al “Comparison of amine-impregnated mesoporous carbon with microporous activated carbon and 13X zeolite for biogas purification”, *J Porous Mater* , v.24, pp.1473–1479, Feb.2017
- [6] PAOLINI, V., et.al “Biogas cleaning and upgrading with natural zeolites from tuffs” *Enviromental Tecno logy*, v.37, n.11, pp.1-33, Nov. 2015
- [7] DIENULLAH, et.al “Pemurnian Biogas Dengan Sistem Berlapis Menggunakan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zeolit Sintetik Dan Zeolit Alam”, *Poros*, v.15, n.1, pp.1-8, Mei 2017
- [8] TIRA AND PADANG “Removal of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S from Raw Biogas Using Activated Natural Zeolite” *Proceedings of the International Mechanical Engineering and Engineering Education Conferences (IMEEEEC)*, pp.030006-1-030005, Malang, Okt. 2016
- [9] RITONGA DAN MASRUKHI, “Optimasi Kandungan Metana (CH<sub>4</sub>) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis”, *Rona Teknik Pertanian*, v.10, n.2, pp.8-17, Okt. 2017
- [10] SALEH, A., et.al “Pengaruh Komposisi Adsorben Campuran (Zeolit-Semen Putih) Dan Waktu Adsorpsi Produk Gas Metana Terhadap Kualitas Biogas Sebagai Bahan Bakar Alternatif”, *Jurnal Teknik Kimia* v.21, n.3, pp.1-6, Aug. 2015
- [11] CHOUIKHI, N., et.al, “CO<sub>2</sub> Adsorption of Materials Synthesized from Clay Minerals: A Review”, *Minerals* v.9, n.514, pp 1-22, Aug.2019
- [12] NKODI, M.T., et.al, “Investigation of Factors Affecting Biogas Production from Cassava Peels by Fractional Factorial Design Experimental Methodology”, *Journal of Applied Life Sciences International*, v.23, n.2, pp 49-56, April.2020
- [13] ALHASAN, M., et.al, “Full 4<sup>2</sup> Factorial Experimental Design of Biogas Production from Cow Dung” *International Review of Chemical Engineering (I.RE.CHE.)*, v.8, n., pp.4-7, Jan. 2016
- [14] FAUGERIT, V., et.al,” Experimental Optimization of an Innovative Biogas Upgrading Process Adapted to the Agricultural Context”, *25th European Biomass Conference & Exhibition*, pp.18-29, Stockholm, Sweden, Jun 2017
- [15] MASSUCI AND CADWEL, “*Modern Practise of Gas Chromatogaphy*”, 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2004
- [16] CAPELLE, D.W., et.al, “An automated, high through-put method for accurate and precise measurements of dissolved nitrous-oxide and methane concentrations in natural waters”, *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography*, v.3, pp.345-355, March.2015
- [17] KOLBERG, D.I., et.al “A new gas chromatography/mass spectrometry (GC-MS) method for the multi-residue analysis of pesticides in bread”, *J. Braz. Chem. Soc*, v.21, n.6, pp.1065-1070, March.2010
- [18] LHANAFI, S., et.al “Factorial experimental design to enhance methane production of dairy wastes co-digestion”, *Sustainable Environment Research*, v.28, n.6, pp.389-395, Nov. 2018
- [19] SHAKIB, N., AND RASHID, M.,” Biogas Production Optimization from POME by Using Anaerobic Digestion Process” *Journal of Applied Science & Process Engineering*, v.6, n 2, pp.369 – 377, Okt.2019.
- [20] AJIBOLA, A.A.,et.al,” Adsorption of dyes using different types of clay: a review”, *Applied Water Sciences*, v.7, pp.543-568, Sept.2015.