

## Modifikasi Zeolit Alam Menjadi ZSM-5 Sebagai Penjerap CO<sub>2</sub>

### Modification of Natural Zeolite to ZSM-5 as CO<sub>2</sub> Adsorber

Esther Mutiara Santallum Ekklesia Tibalia<sup>a</sup>, Fatta Hemawati<sup>a</sup>, Bernadhetta Vivi Kristiana<sup>b</sup>, Gregorius Prima Indra Budianto<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Teknik Kimia Universitas Setia Budi, Jl. Letjen Sutoyo, Mojosongo, Surakarta, 57127, Indonesia

<sup>b</sup>Teknik Industri Universitas Setia Budi., Jl. Letjen Sutoyo, Mojosongo, Surakarta, 57127, Indonesia

#### Artikel histori :

Diterima 03 Mei 2021  
Diterima dalam revisi 04 September 2021  
Diterima 04 Oktober 2021  
Online 01 November 2021

**ABSTRAK:** Biogas merupakan produk dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerob). Dari semua unsur biogas yang berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Bila kadar CH<sub>4</sub> tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalori yang tinggi, sebaliknya jika kadar CO<sub>2</sub> yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk memurnikan biogas adalah dengan proses adsorpsi semisal dengan zeolit. Dalam rangka meningkatkan efisiensi penjerapan CO<sub>2</sub>, modifikasi zeolit diperlukan. Pada penelitian ini digunakan zeolit hasil modifikasi yang dikenal dengan ZSM-5. ZSM-5 hasil sintesis memiliki diameter pori yang lebih besar dari pada zeolit alam sehingga diharapkan peningkatan efisiensi penjerapan gas CO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan dengan zeolite alam. ZSM-5 yang telah diubah dari zeolit alam akan dibandingkan tingkat efektivitas penjerapan gas dibanding zeolit alam.

**Kata Kunci:** Biogas; adsorpsi; CO<sub>2</sub>; zeolit alam; ZSM-5

**ABSTRACT:** Biogas is a product of the bio-decomposition process in anaerobic conditions. Methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) are the compounds of biogas that act in determining the quality of biogas. When the CH<sub>4</sub> level is high, the biogas will have a high calorific value; conversely, the increased CO<sub>2</sub> levels result in low biogas heating value. One effort to purify biogas is the adsorption process using natural zeolite. Natural zeolite should be modified into ZSM-5 because it has a greater pore diameter than natural zeolite. It is expected that the increase of the efficiency of CO<sub>2</sub> adsorption is more significant than natural zeolite. ZSM-5, which is altered from natural zeolite, will be compared to the effectiveness of CO<sub>2</sub> adsorption compared to natural zeolite.

**Keywords:** Biogas; adsorption; CO<sub>2</sub>; natural zeolite; ZSM-5

#### 1. Pendahuluan

Biogas merupakan produk dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerob). Biogas dihasilkan dari aktivitas bakteri methanogens yang secara alamiah terkandung di dalam limbah yang mengandung bahan organik seperti limbah ternak dan sampah organik (Reniaili, 2014).

Menurut Price dkk. (1981) adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas yaitu 40-70% gas metana (CH<sub>4</sub>), 30-60% gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas oksigen (O<sub>2</sub>), 3% gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), 1% gas hidrogen (H<sub>2</sub>), dan 1%

gas karbon monoksida (CO). Dari semua unsur tersebut yang berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Bila kadar CH<sub>4</sub> tinggi maka biogas tersebut akan memiliki nilai kalori yang tinggi. Sebaliknya jika kadar CO<sub>2</sub> yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah. Maka dari itu untuk meningkatkan nilai kalor biogas maka kadar gas CO<sub>2</sub> harus rendah. Kandungan gas metana CH<sub>4</sub> dari biogas dapat ditingkatkan dengan cara memisahkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang bersifat korosif dari biogas (Hamidi dkk., 2011). Untuk mengatasi

\* Corresponding author  
Email: [greg.budianto87@gmail.com](mailto:greg.budianto87@gmail.com)

permasalahan tersebut maka diperlukan proses pemurnian biogas.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meminimalkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) adalah dengan proses adsorpsi. Media adsorpsi yang umum digunakan adalah zeolit karena zeolit merupakan material berpori dan berongga yang mudah didapatkan di alam sehingga harganya relatif lebih murah (Yuanita, 2010; Yulianti, 2017). Berdasarkan Hamidi dkk. (2011), efisiensi zeolit alam dalam menjerap gas CO<sub>2</sub> sebesar 17,25% dari kadar CO<sub>2</sub> awal 20% dan penelitian Ohlin dkk. (2013) mendapatkan nilai penjerapan CO<sub>2</sub> sebesar 17,5%. Dalam rangka meningkatkan efisiensi penjerapan CO<sub>2</sub>, modifikasi zeolit diperlukan.

Pada penelitian ini digunakan zeolite hasil modifikasi yang dikenal dengan ZSM-5. ZSM-5 merupakan yang memiliki rasio Si/Al tinggi (Si/Al<sub>5-100</sub>) menyerupai zeolit dengan bentuk struktur MFI dan rumus kimia Na<sub>n</sub>(AlO<sub>2</sub>)<sub>n</sub>(SiO<sub>2</sub>)<sub>96-n</sub>·16H<sub>2</sub>O (Petushkov, 2011) sedangkan rasio Si/Al zeolite alam paling stabil adalah 5. Perbandingan Si/Al dalam suatu zeolit akan menentukan kerapatan muatan di dalam kristal. Jika perbandingan besar maka dalam struktur kerapatan muatan akan tinggi, molekulnya polar dan kemampuan untuk mengikat molekul besar akan bertambah, dengan kata lain kapasitas tukarnya tinggi (Emelda, 2013).

Menurut Rohayati (2016), ZSM-5 hasil sintesis memiliki diameter pori yang lebih besar dari pada zeolit alam sehingga diharapkan peningkatan efisiensi penjerapan gas CO<sub>2</sub> lebih besar dibandingkan dengan zeolite alam. Penjerapan gas CO<sub>2</sub> yang lebih besar dibuktikan dengan penelitian Ayala dkk. (2014) bahwa Na-ZSM-5 dapat diserap sebesar 67,1%. Penelitian lain oleh Venkatesh (2016) mendapatkan nilai penjerapan gas CO<sub>2</sub> menggunakan ZSM-5 sebesar 43%.

Umumnya pembuatan ZSM-5 diperoleh dari kombinasi silika dan alumina yaitu natrium silikat, silikat hidrat, water glass, silika sol, silika gel, clay, silika terpresipitasi dan calcined silica sebagai sumber silika kemudian alumina murni yang dilarutkan dalam NaOH, alumina sulfat, alumina oksida, logam alumina, aluminium hidroksida, aluminium alkoksida, garam-garam aluminium sebagai sumber alumina, seperti yang dilakukan oleh Putro dkk. (2007) menggunakan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O (Merck) dan Zahrina dkk. (2010) menggunakan Al(OH)<sub>3</sub> sebagai sumber aluminium. Selain itu, pada proses pembuatannya, ZSM-5 membutuhkan *template* berupa Tetraprophyl Ammonium Bromide (TPABr). *Template* ini digunakan untuk mengarahkan struktur ZSM-5 (Kafillah dkk., 2018). Namun, TPABr jarang ditemui dan memiliki harga yang relatif mahal, sehingga proses pembuatan ZSM-5 membutuhkan *cost* yang sangat tinggi dan menjadi tidak ter kualifikasi secara ekonomi. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan inovasi pembuatan ZSM-5 menggunakan *template* CTAB (*Cetyltrimethylammonium Bromide*) dengan menggunakan bahan baku zeolit alam (mengandung silika dan alumina). Secara lebih mendalam,

ZSM-5 hasil sintesis akan dibandingkan karakteristik dan tingkat efektivitas penjerapan gas dibanding zeolit alam.

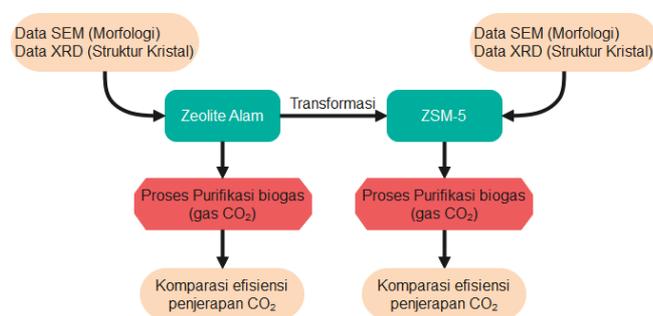
## 1. Metode Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

**Alat:** *Reflux*, labu leher tiga, *magnetic stirrer*, *hot plate*, kertas saring, sonikator, oven, erlenmeyer, neraca analitik, selang, pipa, krus porselen, *gas analyzer*, pH meter, desikator, muffle furnace, stamfer & mortir, alat uji XRD (SHIMADZU XRD-7000) & SEM (SEM-EDX JEOL JSM-6510LA), dan Gas CO<sub>2</sub> (PT. Samator Gas, Solo).

**Bahan:** Zeolit alam diambil dari Gunung Kidul, NaOH p.a. (E-Merck), dan CTAB (*Cetyltrimethylammonium Bromide*) (CV. Chem-Mix Pratama Yogyakarta).

### 2.2 Metode



Gambar 1. Prosedur penelitian

Secara garis besar prosedur penelitian disajikan pada Gambar 1, dimana dilakukan dua tahap yaitu:

#### a. Pembuatan Adsorben:

##### Aktivasi Zeolit alam:

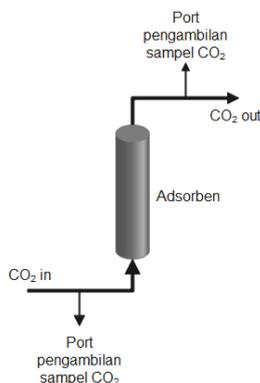
200 g zeolit alam diayak dengan ukuran 100 *mesh*. Setelah itu, zeolite dimaserasi dalam 250 ml NaOH 5N selama 24 jam. Hasil maserasi selanjutnya disaring untuk diambil endapannya. Endapan zeolit hasil maserasi dicuci dengan akuades sampai pH 6-8 dan dikeringkan di oven pada suhu 105-110 °C selama 1 jam lalu disimpan di desikator dalam keadaan tertutup. Selanjutnya, zeolite alam teraktivasi diuji karakteristiknya menggunakan SEM dan XRD

##### Modifikasi Zeolit menjadi ZSM-5:

200 g zeolit alam diayak dengan ukuran 100 *mesh*. Selanjutnya dicampur dengan 250 ml NaOH 5N untuk dilakukan refluks pada suhu 110 °C selama 3 jam dengan menggunakan kondensor ulir dan air dingin sebagai media pendingin. Setelah proses refluks, campuran didinginkan sesaat dan disaring selagi hangat untuk diambil filtratnya. Selanjutnya, setiap 25 ml filtrat dicampur dengan 1 g CTAB dan disonikasi selama 10 menit. Setelah itu, campuran dimasukkan ke dalam hydrothermal autoclave dan dipanaskan pada suhu 105 °C selama 8 jam. Proses selanjutnya adalah pengeringan dan kalsinasi pada suhu 575 °C selama 6 jam. ZSM-5 yang dihasilkan diuji karakteristiknya menggunakan SEM dan XRD.

**b. Uji unjuk kerja zeolit alam teraktivasi dan ZSM-5 dalam menyerap CO<sub>2</sub>**

Gas CO<sub>2</sub> digunakan untuk menggantikan biogas hasil fermentasi karena proses yang lama dan mikroorganismenya tidak mampu memproduksi biogas dengan stabil dalam waktu yang singkat. Pada penelitian ini waktu penyerapan divariasikan dalam 5; 10; 15; 20; dan 25 menit dengan menggunakan adsorben zeolit alam dan ZSM-5, seperti pada Gambar 2.

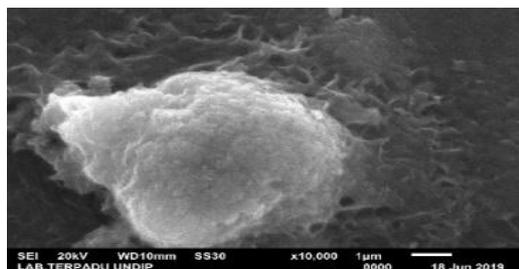


**Gambar 2.** Proses penyerapan CO<sub>2</sub> menggunakan adsorben

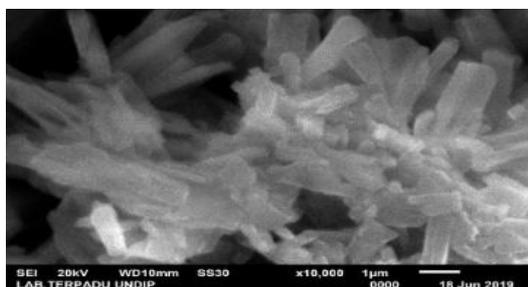
**2. Hasil dan Pembahasan**

**3.1 Karakteristik ZSM-5**

SEM dapat digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan dan ukuran butiran.



**a**



**b**

**Gambar 3.** Hasil scanning SEM (a) Zeolit Alam dan (b) ZSM-5 10000X

Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung dari hasil SEM berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar (Gambar 3).

Ukuran partikel zeolit alam dan ZSM-5 dapat dilihat pada Gambar 3 dengan perbesaran mulai dari 3000X hingga 10000X. Ukuran partikel zeolit alam tidak terukur jelas terlihat bahwa adanya gumpalan pada penampakan morfologinya karena masih adanya zat pengotor lainnya yang tertinggal dan tidak teraktivasi oleh NaOH. Sedangkan ukuran partikel ZSM-5 terlihat jelas kisi antar kristalnya yang membuktikan bahwa metode pembuatan modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 berhasil.

Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal padatan dengan rumus perhitungan ukuran kisi kristal baik zeolit alam maupun ZSM-5. Rumus kisi kristal adalah pertama mencari intensitas puncak difraksi dengan data yang telah diketahui pada pengujian. Kemudian dapat mencari nilai jarak (D)/*d-spacing* (bidang kristal) menggunakan persamaan Dyebe Scharrer yang dirumuskan (Masruroh dkk., 2013):

$$T = \frac{a^\circ \times \pi}{180} \quad (1)$$

$$D = \frac{k \times \lambda}{T \cos \theta} \quad (2)$$

Keterangan:

$a^\circ$  = Full Width at Half Maximum (FWHM) (derajat)

D = ukuran Kristal (nm)

k = faktor bentuk dari Kristal (0,9-1)

$\lambda$  = panjang gelombang dari sinar X (m)

T = nilai dari FWHM (radian)

$\Theta$  = sudut difraksi (derajat)

Perhitungan ukuran kisi kristal zeolit alam:

#	Strongest	3 peaks					
no. peak	no.	2theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	19	25.7419	3.45806	100	0.28990	841	12995
2	23	27.8251	3.20370	84	0.42340	705	16451
3	14	22.3083	3.98192	49	0.47720	409	9964

dipilih peak 23:

$$T = \frac{a^\circ \times \pi}{180} = \frac{0,4234 \times 3,14}{180} = 0,007386 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k \times \lambda}{T \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,007386 \times \cos(27,8251)} = 20,38 \text{ nm}$$

Perhitungan ukuran kisi kristal ZSM-5:

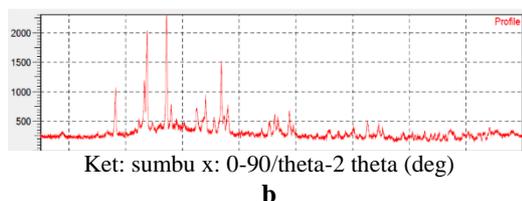
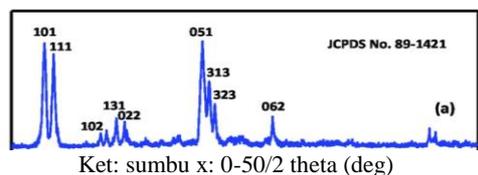
#	Strongest	3 peaks					
no. peak	no.	2theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	13	27.2048	3.27532	100	0.24800	757	10400
2	9	23.7857	3.73783	90	0.25210	685	9268
3	23	36.8564	2.43676	64	0.25110	484	6350

dipilih peak 23:

$$T = \frac{a^\circ \times \pi}{180} = \frac{0,2511 \times 3,14}{180} = 0,0043803 \text{ rad}$$

$$D = \frac{k \times \lambda}{T \cos \theta} = \frac{0,9 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,0043803 \times \cos(36,5864)} = 37,86 \text{ nm}$$

Pada data rumus perhitungan ukuran kristal diketahui bahwa ZSM-5 memiliki ukuran kristal yang lebih besar yaitu 37,86 nm dibandingkan zeolit alam yaitu 20,38 nm sehingga metode pembuatan modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 telah berhasil. Selanjutnya juga diketahui grafik ZSM-5 yang digunakan untuk pengukuran kristalinitas relatif yang dilakukan dengan membandingkan jumlah tinggi puncak pada sudut-sudut tertentu dengan tinggi puncak pada sampel standar ZSM-5 yang dapat dilihat pada gambar 4. Kedua grafik dibandingkan dengan melihat jumlah puncak yang sama yaitu pada puncak grafik 0-50. Puncak yang sama tersebut adalah puncak 111 (0-10 degree), puncak 102, 131, dan 022 (10-20 degree), puncak 051, 313, dan 323 (20-30 degree), serta puncak 062 (30-40 degree). Puncak-puncak tersebut membuktikan bahwa modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 adalah sama dengan ZSM-5 standard.



**Gambar 4.** Grafik (a) XRD ZSM-5 standar dan (b) hasil pengujian

### 3.2 Unjuk kerja ZSM-5 pada proses adsorpsi CO<sub>2</sub>

Hasil pengukuran CO<sub>2</sub> awal tanpa zeolit alam dan menggunakan zeolit alam maupun ZSM-5. Penjerapan CO<sub>2</sub> diperoleh dari rata-rata pengurangan antara pengukuran CO<sub>2</sub> awal tanpa zeolit alam dengan menggunakan zeolit alam maupun ZSM-5.

Penjerapan CO<sub>2</sub> terbaik diperoleh menggunakan ZSM-5 yaitu sebesar 27,5086% dengan ZSM-5 yang digunakan sebanyak 200 gram sedangkan menggunakan zeolit alam yang telah diaktivasi dengan NaOH didapatkan sebesar 11,7306% dengan zeolit alam yang digunakan sebanyak 200 gram. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan ZSM-5 lebih efisien dibandingkan dengan zeolit alam. Tabel 1 menunjukkan hasil efisiensi penjerapan CO<sub>2</sub> oleh ZSM-5 yang diperoleh dibandingkan dengan hasil efisiensi pada penelitian sebelumnya seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Unjuk kerja beberapa ZSM-5 dalam menjerap CO<sub>2</sub>

Sumber Si/Al		template	% adsorb	Referensi
Si	Al			
Zeolite alam		CTABr	27,51%	Hasil penelitian
Zeolite alam		-	11,73%	Hasil penelitian
Zeolite alam		-	11,22%	Apriyanti (2012)
Zeolite alam		-	5,00%	Hamidi (2011)
Zeolite alam		-	3,80%	Yamliha (2013)
LUDOX	NaAlO <sub>2</sub>	TPABr	43,00%	Venkatesh (2016)
PSAL	PS	TPABr	67,10%	Ayala dkk. (2014)
TEOS	NaAlO <sub>2</sub>	TPAOH	13,74%	Liu dkk. (2017)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa zeolite alam dapat dimodifikasi menjadi ZSM-5 dengan efisiensi rata-rata penjerapan CO<sub>2</sub> sekitar 11%, penambahan template CTABr dapat meningkatkan efisiensi penjerapan CO<sub>2</sub> dua kali lipat. Berdasarkan hal tersebut pembuatan ZSM-5 dari zeolite alam dengan template CTABr dapat dipertimbangkan sebagai alternatif pembuatan ZSM-5 yang lebih murah.

### 3. Kesimpulan

Keberhasilan modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 juga didukung dengan uji SEM dan XRD. Uji XRD menunjukkan bahwa ukuran diameter kisi kristal ZSM-5 lebih besar dari pada zeolit alam yaitu sebesar 37,86 nm sedangkan zeolit alam sebesar 20,38 nm. Selanjutnya, uji SEM menunjukkan bahwa struktur kristal ZSM-5 lebih terlihat jelas dibandingkan dengan zeolit alam. Unjuk kerja zeolit alam dan ZSM-5 dalam proses penjerapan CO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa ZSM-5 lebih efektif dalam menurunkan kadar CO<sub>2</sub>. Dengan massa 200 gram ZSM-5 dapat menjerap sebesar 27,5086% sedangkan zeolit alam dapat menjerap sebesar 11,7306%.

### Daftar Pustaka

- Apriyanti E. 2012. Adsorpsi CO<sub>2</sub> Menggunakan Zeolit: Aplikasi Pada Pemurnian Biogas. *Majalah Ilmiah Universitas Pandanaran*. 10 (22).
- Ayala F. E., Corella R. C., Pérez A. M., Hernández R. P., and Ramírez-Zamora R. M. 2014. Carbon Dioxide Capture Utilizing Zeolites Synthesized With Paper Sludge And Scrap-Glass. *Waste Management & Research*. 32 (12).
- Emelda L., Putri S. M., dan Ginting S. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr<sup>3+</sup>. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9 (4).
- Hamidi N., Wardana I., dan Widhiyanuriyawan D. 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Pemurnian dengan Zeolit Alam. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2 (3).

- Kafillah M., Nurlina, dan Alimuddin A. H. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Analsim Menggunakan Prekursor Silika dari Limbah Kaca. *JKK*. 7 (1).
- Liu Q., He P., Qian X., Fei Z., Zhang Z., Chen X., Tang J., Cui M., Qiao X., & Shi Y. 2017. Enhanced CO<sub>2</sub> adsorption performance on hierarchical porous ZSM-5 zeolite. *ACS Paragon Plus Environment*.
- Masruroh, Manggara A. B., Papilaka T., dan Triandi R. 2013. Penentuan Ukuran Kristal Lapisan Tipis PZT Dengan Metode XRD Melalui Pendekatan Persamaan Dyebe Scharrer. *Jurnal UB*.
- Ohlin L., Bazin P., Thibault-Starzyk F., Hedlund J., dan Grahn M. 2013. Adsorption Of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and H<sub>2</sub>O in Zeolite ZSM-5 Studied Using In Situ ATR-FTIR Spectroscopy. *The Journal Of Physical Chemistry*.
- Petushkov, A., Yoon, S., and Larsen, S.C. 2011. Synthesis of Hierarchical nanocrystalline ZSM-5 with Controlled Particle Size and Mesoporosity. *Micropor, Mesopor, Mater*. 137(92-103).
- Price, Elizabeth C., Cheremisinoff, and Paul N. 1981. Biogas Production and Utilization (Energy technology series). *Arbor Science Publishers*.
- Putro A. L. dan Prasetyoko D. 2007. Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik. *Akta Kimindo*. 3 (1).
- Reniaili. 2014. Enceng Gondok Sebagai Biogas yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Ilmiah TEKNO*. 11(1).
- Rohayati, Krisnandi Y. K., and Sihombing R. 2016. Synthesis of ZSM-5 Zeolite Using Bayat Natural Zeolite as Silica and Alumina Source. *International Symposium on Current in Mathematics and Sciences 2016 (ISCPMS 2016)*.
- Venkatesh V., Jaikumar M., and Rajadurai M. S. 2016. CO<sub>2</sub> Capture by Using Modified ZSM-5 Zeolite In Diesel Powered Vehicle. *IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering (IOSR-JMCE)*. 13(102-107).
- Yamliha A., Argo B. D., dan Nugroho W. A. 2013. Pengaruh Ukuran Zeolite Terhadap Penyerapan Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Pada Aliran Biogas. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*. 1(2).
- Yuanita. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara. *Juridik Kimia UNY*. 1956-2010.
- Yulianti I. T. 2017. Sintesis ZSM-5 (Zeolite Secony Mobile-5) dari Silika Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Metode Steam Assisted Conversion (SAC). *Skripsi*. Bandar Lampung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
- Zahrina I., Yelmida, dan Akbar F. 2010. Sintesis ZSM-5 dari Fly Ash Sawit Sebagai Sumber Silika. *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR*.