

# ADSORPSI CO<sub>2</sub> MENGGUNAKAN ZEOLIT : APLIKASI PADA PEMURNIAN BIOGAS

Eny Apriyanti\*)

## Abstrak

*Kendala yang dihadapi dalam proses produksi biogas adalah pada proses pemurniannya. Salah satu metode untuk meningkatkan kinerja biogas dapat dilakukan melalui proses adsorpsi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan zeolit. Dewasa ini, perkembangan teknologi adsorpsi menunjukkan kinerja yang sangat baik. Dalam studi ini telah dilakukan kajian mengenai pengaruh konsentrasi CO<sub>2</sub>, laju alir CO<sub>2</sub>, berat zeolit. Hasil studi menunjukkan bahwa konsentrasi, laju alir dan berat zeolit berpengaruh pada proses adsorpsi CO<sub>2</sub>. Proses adsorpsi CO<sub>2</sub> dilakukan pada temperatur 31°C, tekanan 1 atm dengan proses kontinyu selama 60 menit dan menghasilkan konsentrasi CO<sub>2</sub> 19,71 %mol dan laju alir CO<sub>2</sub> 2 (l/menit), zeolit mengadsorp CO<sub>2</sub> sebanyak 0,00156 % mol dan diperoleh konstanta kecepatan adsorpsi (k) 0,008. Lebih lanjut dilakukan aplikasi untuk pemurnian biogas, proses ini menghasilkan bahwa zeolit zeochem dapat digunakan untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> sebanyak 18,70 % sehingga kemurnian CH<sub>4</sub> meningkat sebanyak 30,4 %.*

**Kata kunci :** Adsorpsi CO<sub>2</sub>, zeolit dan biogas.

## 1. PENDAHULUAN

Krisis energi dan semakin menipisnya persediaan bahan bakar fosil merupakan isu global yang memerlukan perhatian serius untuk dicari pemecahannya. Dengan meningkatnya teknologi, kebutuhan energi semakin meningkat, sehingga keawatiran di berbagai negara terutama negara yang berpenduduk padat dan miskin, yang mengandalkan kebutuhan energi dari minyak bumi.

Kenaikan harga minyak tanah tentunya memberatkan masyarakat, terutama golongan ekonomi menengah ke bawah yang masih menggunakan minyak tanah sebagai bahan bakar dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu energi alternatif yang dapat menggantikan minyak tanah untuk keperluan memasak adalah biogas.

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang banyak mempunyai kelebihan diantaranya sumber yang terbarukan, murah, efisien, dan lebih ramah lingkungan. Pada umumnya komposisi biogas yaitu CH<sub>4</sub>: 40-70% (Harahap,dkk 1980), CO<sub>2</sub>: 30-45% (Monnet, 2003) dan sisanya H<sub>2</sub>S serta *trace element*. Biogas termasuk teknologi energi yang multifungsi karena residu proses biogas juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk berkualitas tinggi. Biogas dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan panas dan listrik, bahan bakar kendaraan bermotor, injeksi ke dalam sistem perpipaan gas dan dikonversi menjadi bahan kimia yang lain (Kangmin dan Wan Ho, 2006).

Salah satu metode untuk meningkatkan performa biogas dapat dilakukan proses pemurnian adsorpsi. Adsorpsi adalah peristiwa terjadinya kontak antara padatan dengan

suatu campuran fluida, sehingga sebagian zat terlarut dalam fluida tersebut teradsorpsi yang menyebabkan terjadinya perubahan komposisi fluida (Brown, 1950). Material yang digunakan sebagai adsorben umumnya material yang berpori terutama pada letak tertentu dalam partikel (Hardjono, 1989). Salah satu adsorber padat yang berpotensi untuk memurnikan metana tersebut adalah zeolit.

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$  tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen untuk membentuk kerangka. Pada kerangka zeolit, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan oleh ikatan dengan kation yang mudah dipertukarkan yang akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat-sifat thermal zeolit (Ozkan dan Ulku, 2008). Selain jenis kation, kemampuan adsorpsi zeolit juga dipengaruhi oleh perbandingan Si/Al dan geometri pori-pori zeolit, termasuk luas permukaan dalam, distribusi ukuran pori dan bentuk pori (Gruszkiewicz dkk., 2005).

Zeolit alam telah banyak ditemukan dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan strukturnya. Meskipun zeolit sintesis juga telah banyak diproduksi, namun zeolit alam tetap mempunyai peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, khususnya di Indonesia (Senda dkk., 2006). Penggunaan zeolit dibutuhkan suatu proses aktivasi untuk meningkatkan sifat khusus zeolit sebagai adsorben dan menghilangkan unsur pengotor (Rosita dkk., 2004). Proses aktivasi juga dapat merubah jenis kation, perbandingan Si/Al serta karakteristik zeolit agar sesuai dengan bahan yang akan dijerap.. Struktur zeolit juga dapat melakukan adsorpsi dan absorpsi terhadap senyawa  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  (Weitkamp dan Puppe, 1999), dengan kemampuan penyerapan zeolit terhadap gas – gas tersebut sampai 25 % (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Zeolit dapat mengontrol gas – gas penyebab utama efek rumah kaca yaitu  $\text{CO}_2$  dan  $\text{N}_2\text{O}$ , kecuali  $\text{CH}_4$  yang tidak terserap (Delahay dan Coq, 2002). Optimasi sistem biogas menggunakan zeolit bertujuan untuk meningkatkan kadar metana dalam biogas sehingga dapat diaplikasikan dalam konverter listrik. Biogas dengan metana kadar tinggi dapat meningkatkan performa generator gas/LPG yang sudah ada di pasaran dan dengan sedikit modifikasi pada engine mampu memelihara keawetan mesin karena mengurangi kemungkinan terjadinya korosi pada mesin. Sedangkan untuk aplikasi secara langsung untuk pembakaran/kompas dapat mempercepat proses pemasakan karena panas yang dihasilkan lebih tinggi dan mengurangi bau khas/kurang sedap dari biogas serta korosi pada burner (Wahono dkk, 2009).

## 2. LANDASAN TEORI

Kendala dalam mengaplikasikan biogas sebagai bahan bakar non fosil yaitu tingginya kandungan gas CO<sub>2</sub> dalam biogas sehingga diperlukan proses pemurnian. Salah satu cara pemurniannya dapat dilakukan dengan cara adsorpsi.

Adsorpsi termasuk salah satu sifat dasar benda, dimana benda mempunyai gaya tarik antar molekul.

Adsorpsi terdiri dari 2 macam proses, yaitu :

Adsorpsi fisik

Adsorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik yaitu proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang diadsorpsi dan larutan pengadsorpsi, proses tersebut karena gaya *van der waals*. Berdasarkan Interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan secara kimia (absorpsi).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben.

Adsorpsi kimia.

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi dimana gas terlarut dalam larutan penyerap disertai dengan reaksi kimia, contoh adsorpsi ini adalah adsorpsi gas CO<sub>2</sub> dengan larutan NaOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan sebagainya. Aplikasi dari adsorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO<sub>2</sub> pada pabrik Amonia. Penyerapan ini terjadi karena adanya proses perpindahan massa yang terjadi antara gas yang diadsorpsi dan larutan pengadsorpsi yang disertai dengan reaksi kimia.

## 3. METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

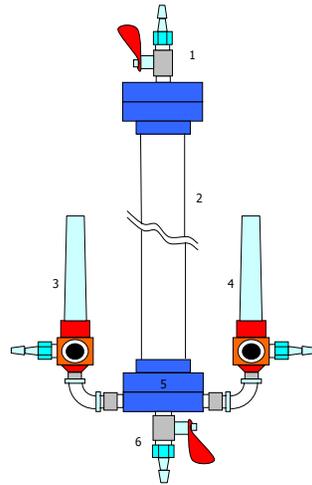
Bahan

Zeolit Zeochem (z4) 2,0–3,0mm, CO<sub>2</sub> (kemurnian  $\geq 99,7$  %) dan gas N<sub>2</sub>.

Peralatan

Kolom Adsorpsi, Tabung gas CO<sub>2</sub>, Tabung gas N<sub>2</sub> , Gas analysis type 898 serial (RS 232) : COM 2, Neraca elektrik, Oven, Desikator dan Termometer.

Secara skematik, alat eksperimen untuk pemurnian biogas dapat digambarkan pada gambar 1. yaitu perangkat kolom adsorpsi CO<sub>2</sub>.



Keterangan :

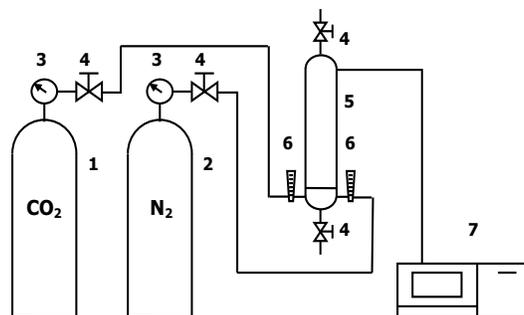
- |   |  |
|---|--|
| 1. Katup keluaran                             | 2. Kolom adsorpsi                            |
| 3. Pengatur laju aliran massa CO <sub>2</sub> | 4. Pengatur laju aliran massa N <sub>2</sub> |
| 5. Ruang pencampur gas                        | 6. Katup                                     |

Gambar 1. Perangkat kolom adsorpsi CO<sub>2</sub> menggunakan zeolit

### Metoda

Adsorpsi CO<sub>2</sub> dengan zeolit menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium dengan tiga tahap. Tahap yang pertama adalah perancangan kolom adsorpsi gas, tahap kedua adalah uji daya adsorpsi zeolit dengan laju alir dan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang berbeda dan tahap yang ketiga yaitu aplikasi pemurnian biogas.

Skema diagram proses adsorpsi dapat dilihat pada gambar 2.



Keterangan :

1. Tabung CO<sub>2</sub>
2. Tabung N<sub>2</sub>
3. Manometer
4. Katup
5. Kolom adsorpsi
6. Pengatur laju aliran massa
7. Analiser gas

Gambar 2. Skema diagram proses unit adsorpsi CO<sub>2</sub>

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi CO<sub>2</sub> Pada Proses Adsorpsi.

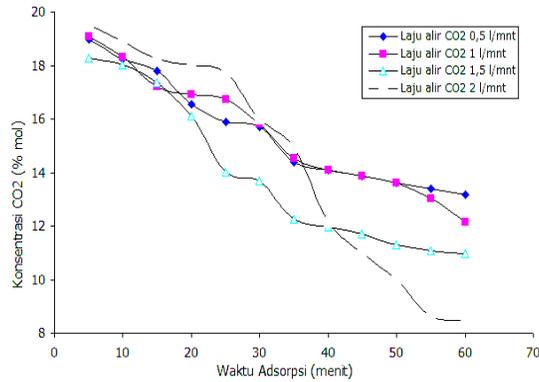
Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada proses adsorpsi sangat berpengaruh terhadap kinerja atau daya serap zeolit. Untuk mengkaji pengaruh konsentrasi CO<sub>2</sub>, percobaan adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi CO<sub>2</sub>, laju alir CO<sub>2</sub> dan berat zeolit.

Tabel 1. Data konsentrasi gas CO<sub>2</sub>

No	Zeolit 100 (gr)		Zeolit 200 (gr)		Zeolit 300 (gr)	
	Konsentrasi masuk (% mol)	Konsentrasi keluar (% mol)	Konsentrasi masuk (% mol)	Konsentrasi keluar (% mol)	Konsentrasi masuk (% mol)	Konsentrasi keluar (% mol)
1	15,07	10,50	17,66	13,82	18,80	13,19
2	16,20	11,40	18,68	12,69	19,17	12,14
3	17,14	11,75	18,03	10,27	18,30	10,96
4	19,01	10,97	19,25	9,82	19,71	8,49

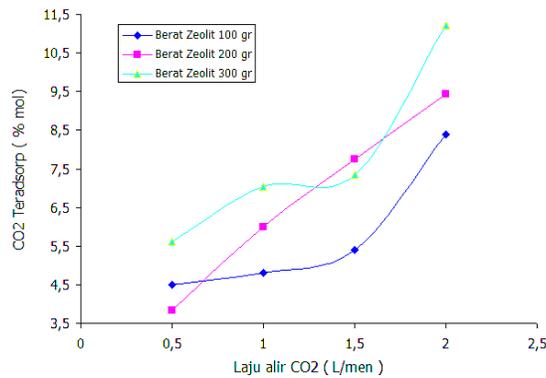
Catatan : data setiap 60 menit pada zeolit 100 gr, 200 gr, 300 gr

Proses adsorpsi dilakukan secara kontinyu, pada penelitian ini digunakan waktu adsorpsi 1 jam (60 menit) dan berat zeolit 300 gram. Dimana gas umpan dilewatkan kolom adsorpsi kemudian gas keluaran dianalisa menggunakan Gas analysis type 898. Untuk pengaruh waktu adsorpsi terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi CO<sub>2</sub> pada proses adsorpsi dengan berat zeolit 300 gr.

Laju alir CO<sub>2</sub> sangat berpengaruh didalam proses adsorpsi, gambar 4. menjelaskan tentang kemampuan zeolit dalam mengadsorp CO<sub>2</sub>, pada grafik dapat dilihat selisih yang besar diperoleh pada konsentrasi awal 19,71 % mol dan konsentrasi keluar 8,49 % mol maka diperoleh selisih 11,22 % mol. Hal ini menunjukkan bahwa CO<sub>2</sub> yang teradsorp zeolit sebesar 11,22 % mol pada laju alir 2 (l/menit) dalam waktu 60 menit.

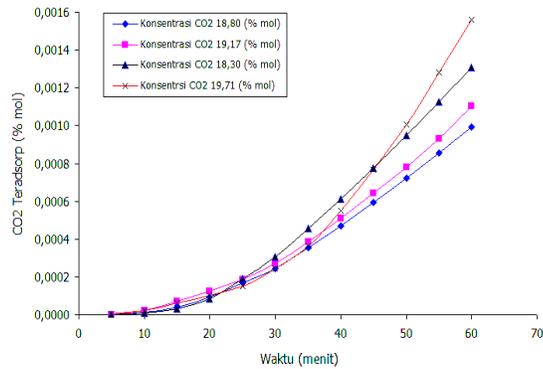


Gambar 4. Pengaruh laju alir (l/menit) terhadap CO<sub>2</sub> yang teradsorp (% mol) selama waktu 60 menit

### Pengaruh Waktu pada proses Adsorpsi CO<sub>2</sub>

Waktu sangat berpengaruh didalam proses adsorpsi, terhadap kinerja zeolit dalam menyerap CO<sub>2</sub> yang dipengaruhi selektivitasnya. Untuk mengkaji pengaruh waktu terhadap kecepatan adsorpsi CO<sub>2</sub> percobaan adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan waktu 5 menit - 60 menit.

Pengaruh waktu terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh waktu terhadap CO<sub>2</sub> yang teradsorp dengan berat zeolit 300 gram.

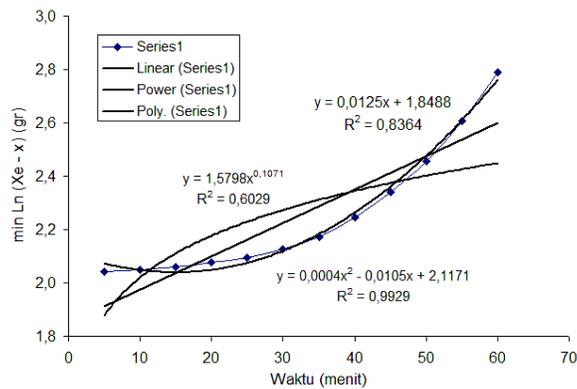
Pada gambar 5. dapat dijelaskan pengaruh waktu terhadap jumlah CO<sub>2</sub> yang teradsorp zeolit. Semakin lama waktu adsorpsi yang digunakan jumlah CO<sub>2</sub> yang diadsorp mengalami peningkatan. Didalam proses adsorpsi, Zeolit memiliki potensi tinggi untuk menangkap CO<sub>2</sub> karena mempunyai porositas yang tinggi (D.Bonenfank dkk., 2008).

#### Konstanta kecepatan adsorpsi (k)

Untuk memperoleh Konstanta kecepatan adsorpsi pada penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi CO<sub>2</sub> dengan tujuan untuk mengetahui proses penyerapan molekul gas pada permukaan adsorban sehingga terjadi perubahan konsentrasi. Konstanta kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh jumlah adsorbat yang diserap pada waktu t (menit).

Dengan adanya kenaikan kecepatan adsorpsi maka akan meningkatkan laju perpindahan massa. Pada percobaan ini harga konstanta kecepatan adsorpsi diperoleh dari grafik waktu (t) versus  $-\ln(X_e - X)$ , maka akan diperoleh garis lurus dengan slope sebagai harga k.

Pengaruh waktu terhadap jumlah CO<sub>2</sub> yang teradsorp, dapat dilihat pada gambar 6, terlihat bahwa kemampuan adsorpsi zeolit terhadap CO<sub>2</sub> menurun sebanding dengan kenaikan konsentrasi.



Gambar 6. Pengaruh waktu (menit) terhadap jumlah CO<sub>2</sub> yang teradsorp Ln (Xe – X) gram pada zeolit 300 gram.

Pada gambar tersebut dapat diketahui kondisi adsorpsi CO<sub>2</sub> dengan zeolit adalah pada konsentrasi 19,71 % dan berat zeolit 300 gram diperoleh harga konstanta kecepatan adsorpsi 0,0125. Dari hasil penelitian, diperoleh harga konstanta kecepatan adsorpsi (k) dari variasi konsentrasi dan berat zeolit pada 300 gram adalah 0,008, dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Konstanta kecepatan adsorpsi pada Zeolit = 300 gram.

No.	Konsentrasi CO2 masuk (% mol)	Harga k	SSE y = ax+bx+c	SSE Y = ax + c
1	18,80	0,0075	0,0326	0,0141
2	19,17	0,0083	0,0864	0,0196
3	18,30	0,0107	0,0015	0,0355
4	19,71	0,0125	0,0860	0,1092
		k = 0,00975		

Dari Tabel 2., nilai konstanta kecepatan adsorpsi dapat diperoleh dari persamaan polynomial dan persamaan linear hal ini menunjukkan kemampuan zeolit mengadsorp CO<sub>2</sub>. Adapun model yang paling mendekati hasil percobaan untuk kedua metode adsorpsi adalah model polynomial.

## Aplikasi pemurnian Biogas

Untuk meningkatkan kinerja biogas dapat dilakukan melalui proses adsorpsi. Pada proses adsorpsi digunakan zeolit sebagai adsorbennya karena zeolit mempunyai kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi terhadap gas CO<sub>2</sub> (Cavenati, S., dkk., 2004).

Pada penelitian untuk aplikasi biogas digunakan dua jenis zeolit sintesis yaitu zeolit zeochem 4A dan zeolit sorbead 3A dengan tujuan untuk mengetahui daya adsorpsi pada masing – masing zeolit.

Pada tabel 3. dapat diperoleh hasil bahwa zeolit yang baik digunakan untuk proses adsorpsi CO<sub>2</sub> pada pemurnian biogas adalah zeolit zeochem 4A, karena mampu mengadsorp CO<sub>2</sub> sebanyak 18,70 % .sedangkan untuk zeolit sorbead 3A mampu mengadsorp CO<sub>2</sub> sebanyak 9,86 %. Zeolit memiliki kemampuan untuk meningkatkan kemurnian biogas karena mempunyai selektivitas yang tinggi dan mampu menyerap semua gas pengotor utama yaitu uap air, CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, namun tidak menyerap gas utama yang ingin dimurnikan yaitu CH<sub>4</sub> (Wahono, 2008).

Tabel 3 Hasil Analisa Biogas dengan Zeolit Sorbead dan Zeolit Zeochem 4A.

Unsur	Zeolit Sorbead 3A		Zeolit Zeochem 4A	
	Input (% mol)	Output (% mol)	Input (% mol)	Output (% mol)
He	0,000	0,000	0,000	0,000
H <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000
O <sub>2</sub> + Ar	9,129	8,880	5,800	2,491
N <sub>2</sub>	11,501	11,051	7,206	2,906
CH <sub>4</sub>	32,801	36,037	36,484	47,576
CO	0,000	0,000	0,000	0,000
CO <sub>2</sub>	15,50	13,70	16,57	13,47

## 5. KESIMPULAN

Adsorpsi gas CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : Jenis, ukuran partikel, ukuran pori dan jumlah zeolit serta bentuk dan ukuran kolom. Pada penelitian ini berat zeolit yang

digunakan ada tiga : 100 gram, 200 gram dan 300 gram. Setelah dilakukan percobaan dapat disimpulkan bahwa pada berat zeolit 300 gram adalah yang terbaik untuk proses adsorpsi CO<sub>2</sub>.

Konsentrasi dan laju alir CO<sub>2</sub> berpengaruh pada proses adsorpsi karena semakin meningkat konsentrasi dan laju alir maka daya atau kapasitas adsorpsi yang diperoleh semakin tinggi. Pada penelitian ini laju alir yang digunakan adalah 0,5 L/menit, 1 L/menit, 1,5 L/menit, 2 L/menit dan konsentrasi CO<sub>2</sub> yang paling baik adalah pada konsentrasi 19,71 % dan laju alir CO<sub>2</sub> 2 L/menit pada posisi ini Zeolit mampu mengadsorpsi sebanyak 0,00156 % mol.

Konstanta kecepatan reaksi sangat berpengaruh terhadap proses adsorpsi CO<sub>2</sub> dimana nilai k dapat diperoleh dari hubungan dari jumlah zat teradsorpsi persatuan massa. Pada penelitian ini harga k diperoleh 0,008.

Hasil analisa biogas menunjukkan bahwa zeolit zeochem 4A baik digunakan untuk menurunkan kadar CO<sub>2</sub> sebanyak 18,70 % sehingga kemurnian CH<sub>4</sub> meningkat sebanyak 30,4 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguado, S., Jorge, G., Jacobus, C.J., and Freek, K. (2009). *Continuous Synthesis of NaA Zeolite Membranes*. Microporous and Mesoporous Materials. 120: 170-176.
- Arifin, R., Perdana F.P. dan Juliastuti S.R. (2008), *Pengaruh Enzim Amilase terhadap Pembentukan Biogas dari Limbah Tapioka*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2008, ISSN : 1411 – 4216, Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
- Ackley M.W, Rege S.U., and Saxena H., ( 2003), *Application of Natural Zeolites in The Purification and Separation*. Journal of Microporous and Mesoporous Materials. 61, 25-42.
- Brown, G.G. (1950). *Unit Operation, 2<sup>nd</sup> ed Modern Asia* : John Wiley and Sons, Ltd.
- Budiyono, Widiyasa I.N. dan Sunarso. (2010), *Perkembangan Teknologi Pemisahan Untuk Pemurnian Biogas*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2010, ISSN : 1411 – 4216, Teknik Kimia Universitas Diponegoro Semarang.
- Balat, M., Havva, B., and Cahide, O. (2008). *Progress in Biogas Processing. Progress in Energy and Combustion Science*. 34: 551-573.
- Bonenfank, D., Ming-Shing, S., and Edward, P., (2008), *Adsorption CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> Using Zeolit* . Lloyd,D.R. (eds.). ACS Symposium Series Number 269, American Chemical Society. Washington: 273-294.
- Caro, J., Noack, M., Kolsch, P., and Schäfer, R. (2000). *Zeolite Membranes: State of Their Development and Perspective*. Microporous Mesoporous Materials. 38: 3-24.
- Cavenati, S., Grande, C., and Rodrigues, E., (2004). *Adsorption Equilibrium of Methane, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> on Zeolite at High Pressure*, University of Porto, Portugal. Chemical Engineering Journal. 49: 1095-1101.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. (2002). *Particle Technology and Adsorption Processes. Chemical Engineering*. Volume 2. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann

- Delahay, G. And B. Coq, (2002), *Zeolit For Cleaner Tecchnologies*. Catalytic Science Series – Vol. 3, Chapter 16, Imperial College Press, London.
- Ertan, A (2009). *Adsorsi CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> dan Ar Pada Zeolit* Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia - SNTKI. 19-20 Oktober 2009. Bandung: TBB13-1 – TBB13-6.
- Gozan, M., Safri, M., Fani, S.H., Pramudono B., dan Nasikin, M. (2007). *Sakarifikasi dan Fermentasi Bagas Menjadi Biogas Menggunakan Enzim Selulase dan Enzim Sellobiase*. Jurnal Teknologi. 3: 209-215.
- Hambali, R.D., Sperisa, D., Adrian, N., dan Paryanto. (2007). *Pengaruh Kondisi Fermentasi Terhadap Yield Etanol pada Pembuatan Biogas dari Pati Garut*. Gema Teknik. 2: 83-88
- Igbokwe P.K, Okolomike RO., and Nwokolo SO., (2008). *Zeolite for Drying of Ethanol-Water and Methanol-Water Systems from Nigerian Clay Resource*, Journal of The University of Chemical Technology and Metallurgy, 43: 109-112.
- Kamarudin KSN, Mat H, dan Hamdan H, (2003). *Structural Synthesis and Modification of Zeolite as Methane Adsorbent*. Paper of University Teknologi Malaysia submitted at Annual Fundamental Science Seminar,. 13 (2): 272-278.
- Kamarudin KSN, Mat H, dan Hamdan H, (2004). *Equilibrium Model of Gas Adsorption on Zeolite*, Paper of University of Technology Malaysia. 59 (2): 133-149
- Monnet, F., (2003), *An Introduction to anaerobic digestion of organic waste*, Chemical Engineering Journal. 102: 171-184.
- Oliveira C.R, and Rubio J., (2007) *Adsorption of Ions onto Treated Natural Zeolite*, Material Research. Vol.10 No. 4: 407 – 412.
- Othmer, K., (1955). *Encyclopedia of Chemical Technology* 4<sup>th</sup> .Ed, New York: McGraw-Hill Book Company.
- Ozkan F.C., and Ulku S., (2008). *Diffusion Mechanism of Water Vapour in A Zeolitic Tuff Rich in Clinoptilolite*, Thermal Analysis and Calorimetry 94:699-702
- Payra P., Dutta PK, ( 2003). *Zeolites : A Primer*, Handbook of Zeolite Science and Technology, Marcel Dekker, Inc.
- Rosita N., Erawati T., dan Moegihardjo M., (2004). *Pengaruh Perbedaan Metode Aktivasi Terhadap Efektivitas Zeolit sebagai Adsorben*. Majalah Farmasi Airlangga Vol 4 No. 1.
- Smith R, (2005), *Chemical Process Design and Integration*, 2<sup>nd</sup> ed. England: John Wiley and Sons, Ltd.
- Suardana I.N., (2008). *Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium(III)*, Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora Lembaga Penelitian Undiksha, Vol. 2(1), 17-33.