

**PENINGKATAN KAPASITAS ADSORPSI CO<sub>2</sub>  
DARI ADSORBEN METIL DIETANOL AMINA (MDEA)  
BERPENYANGGA ZEOLIT ALAM**

*(The Adsorption Capacity of The Adsorbent Dietanol  
Methyl Amine (MDEA) on Nature Zeolite)*

**Roza Adriany**

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”  
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan  
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

email: [rozaa@lemigas.esdm.go.id](mailto:rozaa@lemigas.esdm.go.id) ; [roza\\_adriany@yahoo.com](mailto:roza_adriany@yahoo.com)

Teregistrasi I tanggal 28 Desember 2015; Diterima setelah perbaikan tanggal 21 April 2016;  
Disetujui terbit tanggal: 29 April 2016.

---

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian mengenai peningkatan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dari adsorben Metil Dietanol Amina (MDEA) yang diimpregnasikan pada zeolit alam dengan menggunakan larutan MDEA yang mengandung Piperazin 6% yang berfungsi sebagai aktifator reaksi. Metodologi pembuatan adsorben dimulai dari pembersihan pori zeolit alam sebagai penyangga menggunakan Asam Klorida 5N dan pemanasan pada suhu 200°C dan dilanjutkan dengan impregnasi MDEA ke dalam pori zeolit pada beberapa variasi konsentrasi MDEA yaitu 15%, 20% dan 25%. Terhadap sampel adsorben dilakukan pengujian penentuan luas permukaan, total volume pori dan diameter pori rata-rata serta uji kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada suhu ruang menggunakan alat uji adsorpsi CO<sub>2</sub> sistem kontinyu. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> optimum diperoleh pada konsentrasi MDEA 15% yaitu 33,6 mg CO<sub>2</sub>/g adsorben atau 0,764 mmol CO<sub>2</sub>/g adsorben. Impregnasi MDEA (mengandung Piperazin) ke dalam pori zeolit dapat meningkatkan perbandingan mol CO<sub>2</sub> dan MDEA dari 1:1 menjadi 30:1, yang diperoleh pada konsentrasi MDEA 20 %.

**Kata Kunci:** zeolit alam; impregnasi MDEA; kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub>, piperazin.

**ABSTRACT**

*Research has been undertaken on increasing the CO<sub>2</sub> adsorption capacity of adsorbent Dietanol Methyl Amine (MDEA). MDEA is impregnated on natural zeolite using MDEA solution containing 6% piperazine which serves as a reaction activator. The methodology of making adsorbent begins with cleansing zeolite pores as a buffer using 5N Hydrochloric Acid and heating it at a temperature of 200°C and then impregnation of MDEA into the pre zeolite at concentrations of 15%, 20% and 25%. A sample of adsorbent testing the surface area, total pore volume and average pore diameter and also tested the CO<sub>2</sub> adsorption capacity at room temperature using a continuous system of CO<sub>2</sub> adsorption test. Research shows that the optimum CO<sub>2</sub> adsorption capacity was obtained at a concentration of 15% MDEA, 33,6 mg CO<sub>2</sub>/g CO<sub>2</sub> adsorbent or 0.764 mmol/g adsorbent. Impregnation of MDEA (containing piperazine) into the zeolite pores improved the mol CO<sub>2</sub> and MDEA ratio from 1:1 to 30:1, which was obtained at a concentration of 20% MDEA.*

**Keywords:** natural zeolite, MDEA impregnation, adsorpsi capacity CO<sub>2</sub>, piperazine.

## I. PENDAHULUAN

Senyawa alkanol amina sebagai penangkap  $\text{CO}_2$  telah banyak dimanfaatkan oleh industri seperti pada proses pemurnian gas alam. Senyawa amina yang umum digunakan adalah Metil Dietanol Amina (MDEA) dimana MDEA dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 30% hingga 50%. Proses penyerapan amina berair memperlihatkan beberapa kelemahan seperti bidang kontak yang sempit antara gas dan cairan, rendahnya kemampuan pemuatan  $\text{CO}_2$ , dan juga dapat menimbulkan efek korosi. Untuk itu penggunaan metode impregnasi amina pada permukaan padatan berpori merupakan metode alternatif yang dapat meningkatkan luas kontak antara gas dan cairan serta meningkatkan pemuatan  $\text{CO}_2$ .<sup>1,2,3</sup>

Salah satu adsorben padat berpori yang dapat digunakan sebagai support dari amina dalam menangkap  $\text{CO}_2$  adalah zeolit alam. Zeolit berfungsi sebagai support dan juga berfungsi sebagai menyerap  $\text{CO}_2$ . Efisiensi adsorpsi zeolit dipengaruhi terutama oleh ukuran luas permukaan, diameter pori, total volume pori, densitas muatan dan komposisi kimia kation-kation yang terdapat dalam struktur pori.<sup>1,2,3</sup>

Pada penelitian terdahulu (Roza Adriany, Februari 2016) telah dilakukan pembuatan adsorben  $\text{CO}_2$  dari Metil Dietanol Amina (MDEA) yang dimpregnaskan pada penyangga padat berpori yaitu zeolit alam. MDEA yang digunakan adalah MDEA 15% tanpa aktifator Piperazin dan diperoleh kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 28,38 mg  $\text{CO}_2$ /g adsorben atau 0,645 mmol  $\text{CO}_2$ /g adsorben.<sup>7</sup>

Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi  $\text{CO}_2$  dari adsorben, dilakukan penelitian dimana larutan MDEA yang digunakan adalah MDEA yang mengandung Piperazin 6%. Piperazin adalah senyawa yang sangat reaktif dalam mengikat  $\text{CO}_2$  disebabkan karena mempunyai dua gugus amina per molekul sehingga Piperazin dapat digunakan sebagai aktifator reaksi.<sup>5,6,8,9,10</sup>

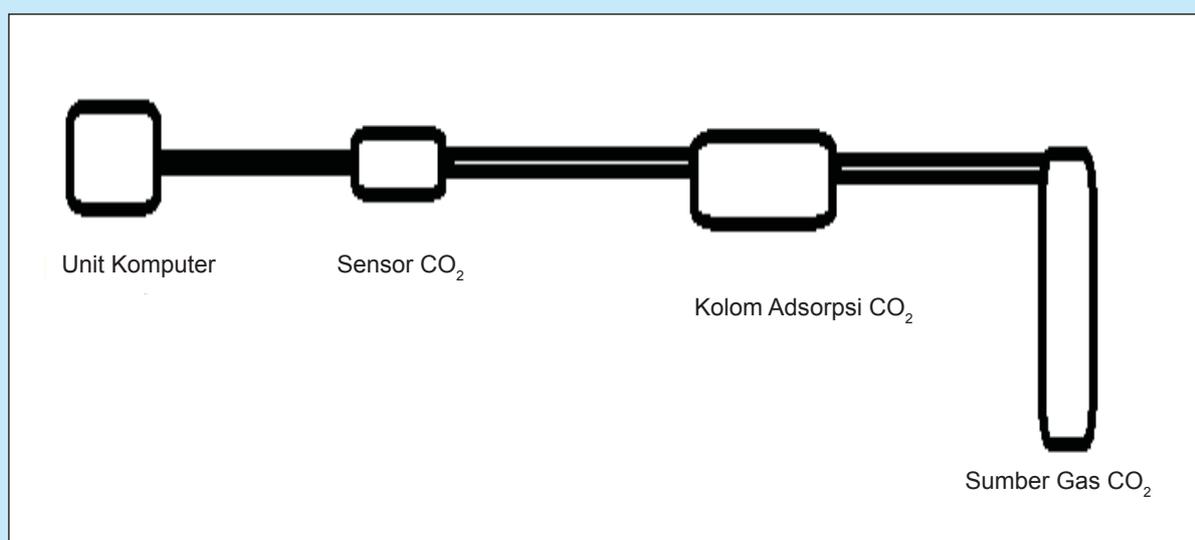
Maksud dan tujuan penelitian adalah membuat adsorben  $\text{CO}_2$  dari bahan Metil Dietanol Amina (mengandung aktifator Piperazin) yang diimpregnasi ke dalam pori zeolit alam dan melakukan uji kapasitas adsorpsi  $\text{CO}_2$  dari adsorben.

## II. BAHAN DAN METODE

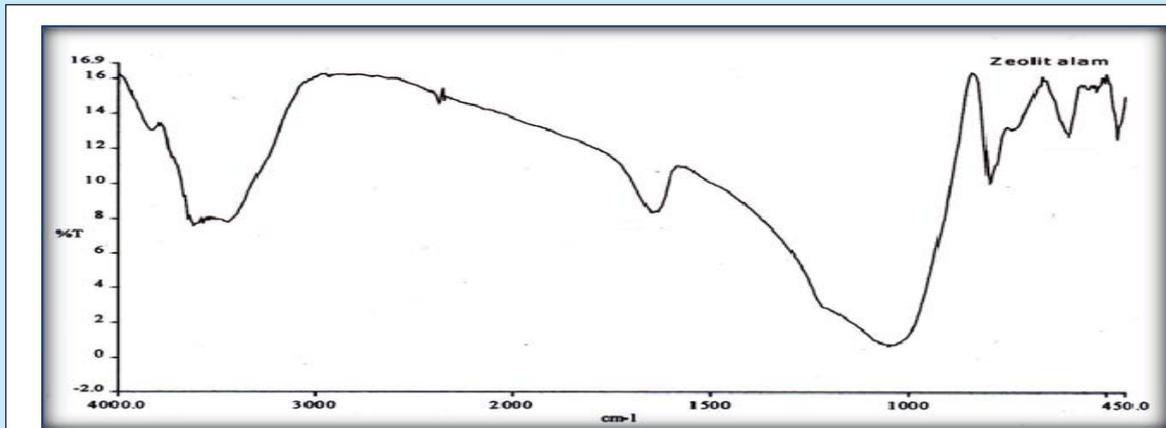
Metodologi penelitian dimulai dari perendaman zeolit menggunakan HCl 5N selama sekitar 8 jam, dicuci dengan akuades hingga pH larutan hasil pencucian sama dengan pH akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 200 °C selama 8 jam untuk membersihkan pori.

Tahap selanjutnya adalah impregnasi MDEA mengandung aktifator Piperazin ke dalam rongga zeolit pada variasi konsentrasi MDEA yaitu 15%, 20% dan 25%.

Terhadap produk adsorben yang diperoleh dilakukan uji karakteristik yaitu analisis gugus fungsi menggunakan alat FT-IR dan penentuan luas permukaan, volume pori, ukuran pori rata-rata menggunakan alat *surface area analyzer*. Setelah itu dilakukan pengujian kapasitas adsorpsi  $\text{CO}_2$  dari adsorben pada suhu ruang menggunakan alat uji adsorpsi  $\text{CO}_2$  sistem kontinyu.



Gambar 1  
Bagan alat uji adsorpsi  $\text{CO}_2$  sistem kontinyu.



Gambar 2  
Spektrum FT-IR zeolit alam.

#### Bahan dan Alat

- Zeolit Alam dari daerah Bayah
- Metil Dietanol Amina (mengandung Piperazin 6%)
- HCl 5 N
- Akuades
- Gas CO<sub>2</sub> konsentrasi 99,99 %
- Alat uji adsorpsi CO<sub>2</sub> sistem kontinyu

### III. HASIL DAN DISKUSI

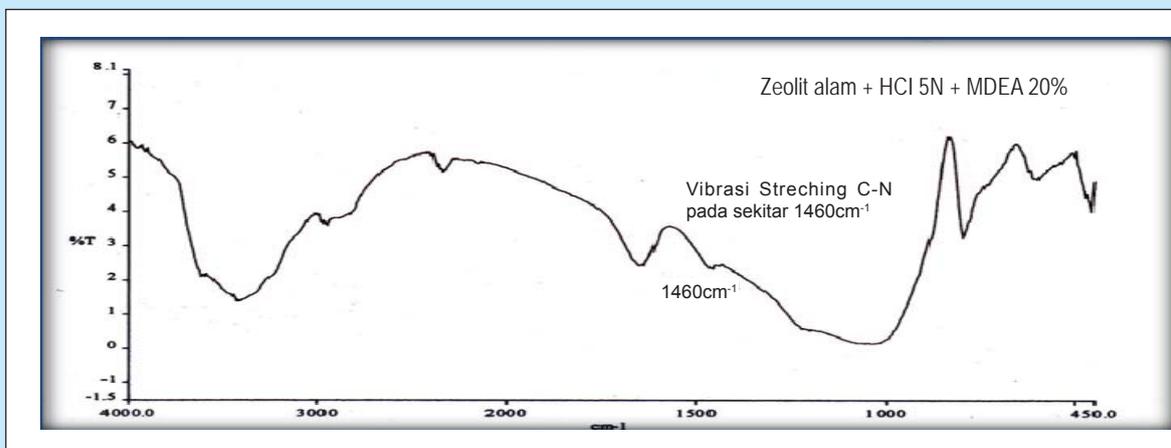
#### a. Analisis Gugus Fungsi dengan FT\_IR

Hasil uji absorbansi dengan FT-IR membuktikan bahwa MDEA telah terimpregnasi ke dalam pori zeolit. Hal ini ditunjukkan oleh adanya vibrasi stretching C-N dari MDEA pada absorbansi sekitar 1460 cm<sup>-1</sup>, seperti tampak pada Gambar 3, dimana vibrasi stretching C-N tidak dimiliki oleh zeolit alam, seperti tampak pada gambar 2.

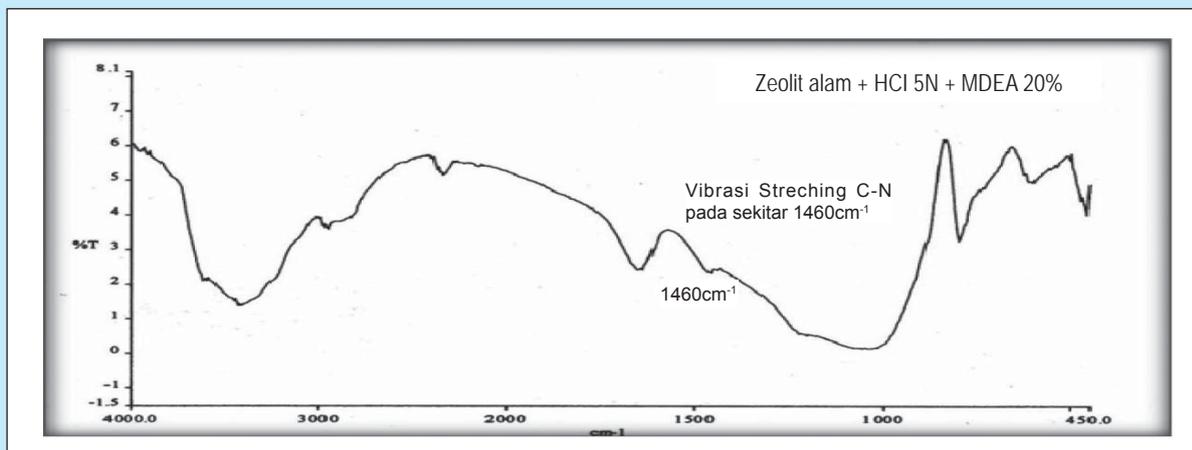
Gambar 4 adalah spektrum FT-IR dari MDEA yang diimpregnasikan ke dalam zeolit sintetik MCM-41 (Khairul Sozana, 2009), yang digunakan sebagai spektrum pembandingan. Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa vibrasi stretching C-N dari MDEA terjadi pada absorbansi sekitar 1459 cm<sup>-1</sup>.<sup>4</sup>

#### b. Uji Luas Permukaan, Total Volume Pori dan Diameter Pori Rata-rata

Dari Tabel 1 terlihat bahwa impregnasi MDEA mengandung Piperazin pada zeolit alam dapat menurunkan luas permukaan dan total volume pori zeolit. Hal ini disebabkan karena MDEA mengandung Piperazin mengisi ruang pori zeolit sehingga luas permukaan dan total volume pori menjadi berkurang. Semakin besar jumlah MDEA yang diimpregnasikan ke dalam pori maka makin berkurang luas permukaan dan total volume pori zeolit tersebut.



Gambar 3  
Spektrum FT-IR zeolit alam – impregnasi MDEA.



**Gambar 4**  
Spektrum FT-IR pembanding : zeolit terimpregnasi amina, (Khairul Sozana N 2009).

### c. Hasil Uji Adsorpsi CO<sub>2</sub>

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> optimum, diperoleh pada konsentrasi MDEA 20% yaitu 33,6 mg CO<sub>2</sub>/g adsorben atau 0,764 mmol CO<sub>2</sub>/g adsorben. Berdasarkan hipotesa bahwa semakin besar konsentrasi MDEA maka semakin besar jumlah mmol MDEA dan dengan demikian semakin banyak jumlah mmol CO<sub>2</sub> yang dapat ditangkap. Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa pada sampel zeolit yang mengandung MDEA 15% dan zeolit yang mengandung MDEA 20%, kenaikan mmol MDEA seiring dengan kenaikan mmol CO<sub>2</sub> yang terserap. Namun demikian hal ini tidak berlaku pada sampel zeolit yang mengandung MDEA 25% dimana semakin banyak mmol MDEA yang diimpregnasikan tidak menyebabkan

semakin meningkatnya kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub>, tetapi sebaliknya mmol CO<sub>2</sub> yang dapat ditangkap menurun dari 0,764 mmol menjadi 0,408 mmol. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi MDEA 25%, sebagian besar permukaan pori telah tertutup oleh MDEA. Penambahan jumlah MDEA tidak menyebabkan luas kontak bertambah tetapi mengakibatkan berkurangnya ruang pori.

Berdasarkan stokiometri reaksi antara MDEA dan CO<sub>2</sub> diketahui bahwa perbandingan mmol MDEA dan CO<sub>2</sub> adalah 1 : 1 (pada kondisi ada H<sub>2</sub>O). Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan perbandingan mmol MDEA dan CO<sub>2</sub> dengan perbandingan terbesar adalah 1:30 pada sampel zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA 15%. Meningkatnya perbandingan mmol MDEA

**Tabel 1**  
Hasil uji luas permukaan dan total volume pori

No	Jenis Sampel	Hasil Uji	
		Surface Area m <sup>2</sup> /g	Total Volume Pori (cc/g)
1.	Zeolit alam (Preparasi HCl 5N+Pemanasan 200°C)	57,24	0,09
2.	Zeolit alam (Preparasi HCl 5N+Pemanasan 200°C)+MDEA 15% tanpa Piperazin (Roza Adriany Februari 2016)	7,3	0,02
3.	Zeolit alam (Preparasi HCl 5N+Pemanasan 200°C)+MDEA 15% dengan Piperazin)	3,68	0,04
4.	Zeolit alam (Preparasi HCl 5N+ Pemanasan 200°C)+MDEA 20% dengan Piperazin)	2,95	0,02
5.	Zeolit alam (Preparasi HCl 5N+ Pemanasan 200°C)+MDEA 25% dengan Piperazin)	2,45	0,02

**Tabel 2**  
**Hasil uji adsorpsi CO<sub>2</sub> selama 1 jam**

Jenis Sampel	Massa CO <sub>2</sub> terserap (mg/g adsorben)	mmol CO <sub>2</sub> terserap (mmol/g adsorben)	Surface Area m <sup>2</sup> /g	mmol MDEA	Perbandingan mmol MDEA-PZ : mmol CO <sub>2</sub> terserap
Zeolit (preparasi HCl 5N + Pemanasan 200 °C )	16,17	0,367	127,5	-	-
Zeolit ( Preparasi HCl 5N + Pemanasan 200 °C ) + MDEA 15% (dengan Piperazin )	26,93	0,612	3,68	0,021	30 : 1
Zeolit (Preparasi HCl 5N+Pemanasan 200°C)+MDEA 20% (dengan Piperazin)	33,6	0,764	2,95	0,027	28 : 1
Zeolit (Preparasi HCl 5N+Pemanasan 200°C)+MDEA 25% (dengan Piperazin)	17,93	0,408	7,45	0,034	12 : 1

dan CO<sub>2</sub> diduga disebabkan karena adanya peran dari pori zeolit menyebabkan CO<sub>2</sub> terakumulasi di ruang pori.

#### d. Peran Piperazin Sebagai Aktifator Reaksi

Pada penelitian terdahulu (Roza Adriany, Februari 2016) telah dilakukan pembuatan adsorben CO<sub>2</sub> dari MDEA 15% tanpa Piperazin yang diimpregnasikan pada penyangga padat berpori yaitu zeolit alam dan diperoleh kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar 28,38 mg CO<sub>2</sub>/g adsorben atau 0,645 mmol CO<sub>2</sub>/g adsorben. Perbandingan mmol MDEA tanpa PZ dengan mmol CO<sub>2</sub> terserap adalah 21:1

Penggunaan Piperazin sebagai aktifator reaksi terbukti dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dari adsorben, dimana kemampuan adsorpsi CO<sub>2</sub> dari sampel zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA yang mengandung Piperazin lebih besar dibandingkan sampel zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA yang tidak mengandung Piperazin.

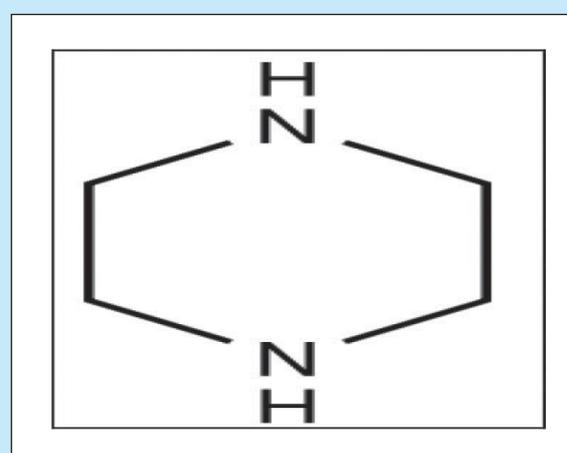
Alasan utama penggunaan Piperazin sebagai aktifator reaksi penangkapan CO<sub>2</sub> disebabkan karena Piperazin sangat reaktif terhadap CO<sub>2</sub> dimana konstanta kecepatan reaksinya dengan CO<sub>2</sub> adalah 59000 (L.mol<sup>-1</sup>.S<sup>-1</sup>) pada 25 °C sedangkan MDEA hanya 4 (L.mol<sup>-1</sup>.S<sup>-1</sup>) pada 25 °C . Sifat sangat reaktif ini disebabkan karena Piperazin mempunyai dua

gugus amina per molekul dimana keduanya dapat mengikat CO<sub>2</sub>. Struktur kimia Piperazin disajikan pada Gambar 5.<sup>5,6,8,9,10</sup>

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari kegiatan penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal berikut

Kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> optimum untuk adsorben zeolit terimpregnasi MDEA dengan Piperazin, diperoleh pada konsentrasi MDEA 20% yaitu 33,6 mg CO<sub>2</sub>/g adsorben atau 0,764 mmol CO<sub>2</sub>/g adsorben.



**Gambar 3**  
**Struktur kimia piperazin**

Impregnasi MDEA dengan Piperazin ke dalam pori zeolit dapat meningkatkan perbandingan mol CO<sub>2</sub> dan MDEA dari 1:1 menjadi 30:1, yang diperoleh pada konsentrasi MDEA 15% (dengan Piperazin).

Penambahan Piperazin pada MDEA dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> dari adsorben.

## KEPUSTAKAAN

- Adewale Adeosun, Nabil El Hadri1, Earl Goetheer, Mohammad R.M. Abu-Zahra1, 2013**, \*  
“Absorption of CO<sub>2</sub> by Amine Blends Solution: An Experimental Evaluation”, *Research Inventy: International Journal Of Engineering And Science Vol.3, Issue 9 (September 2013)*, PP 12-23 Issn(e): 2278-4721, Issn(p):2319-6483, Wwww. Researchinventy.Com
- Cheng-Hsiu Yu, Chih-Hung Huang, Chung-Sung Tan, 2012**, “A Review of CO<sub>2</sub> Capture by Absorption and Adsorption”, *Aerosol and Air Quality Research*, 12: 745–769, Copyright © Taiwan Association for Aerosol Research ISSN: 1680-8584 print / 2071-1409 online doi: 10.4209/aaqr.2012.05.0132
- CHEN Jie1, GUO Qing2, HUA Yihuail et al, 2014**, “Absorption performance of MDEA activated amines in natural gas pretreatment process”. *Chemical Industry and Engineering Progree*, 33(01): 80-84.
- Khairul Sozana Nor Kamarudin Hanapi Mat, 2009**, “Synthesis and Modification of Micro and Mesoporous Materials as CO<sub>2</sub> Adsorbents”, Fakultas Kejuruteraan Kimia, Universiti Teknologi Malaysia.
- Noor, Hidayu, dkk, 2015**, “Enhancehanolamine (MDEA) Absorption CO<sub>2</sub> Capture Using Activator”. *Air Pollution mitigation, monitor control technologies and 5<sup>th</sup> International Conference on Environment 2015 (ICENV 2015)*. 18th-19th August, 2015 Penang, Malaysia.
- Ralph H. Weiland, Nathan A. Hatcher & Jaime L. Nava, 2010**, “Post-Combustion CO<sub>2</sub> Capture with Amino-Acid Salts”, *Optimized Gas Treating, Inc. Clarita, OK 74535, USA. Paper presented at GPA Europe Meeting, Lisbon, Portugal, 22–24 September, 2010*.
- Roza Adriany, 2016**, “Studi Pendahuluan Pembuatan Adsorben Metil Dietanol Amina (MDEA) Berpenyangga Zeolit Alam Untuk Penangkapan CO<sub>2</sub>”, *Prosiding Seminar Technopreneurship dan Alih Teknologi*, Volume 1, Nomor 1, Halaman 276-283.
- Quanmin Xue, Di Wu, Yaping Zhou, Li Zhou, 2012**, “Improvement of amine-modification with piperazine for the adsorption of CO<sub>2</sub>”, *Science Direct, Volume 258, Issue 8, 1 February, Pages 3859–3863*
- Watana Kangwanwatana, Chintana Saiwan, Chulalongkorn University, Paitoon Tontiwachwuthikul, 2013**, “Study of CO<sub>2</sub> Adsorption Using Adsorbent Modified with Piperazine”, *Conference Paper, January*.
- Xue, Quanmin, Wu Di, Zhou, Yaping, Zhou, Li, 2012**, “Improvement of amine-modification with piperazine for the adsorption of CO<sub>2</sub>”, *Applied Surface Science, Volume 258, Issue 8, p. 3859-3863*.