

AKTIVASI ZEOLIT SEBAGAI ADSORBEN GAS CO₂

Isni Utami

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, UPN "Veteran" Jawa timur
Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya 60294
Telepon (031) 8782179, faks (031) 8782257
Email : isniutami@yahoo.com

Abstrak

Aktivasi zeolit sebagai adsorben gas CO₂ dari biogas dilakukan secara kimia dan fisika dengan tujuan menghilangkan pengotor organik untuk mendapatkan bentuk kation dan kerangka zeolit yang berbeda. Aktivasi zeolit ditujukan untuk modifikasi zeolit dan memperbaiki karakter zeolit. Secara kimia sebagai activator digunakan H₂SO₄ dengan konsentrasi bervariasi pada rentang 5% s/d 30% dan secara fisika dilakukan kalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam. Proses adsorpsi dilakukan dengan mengalirkan gas CO₂ sintesis 98,86% dari bagian bawah kolom adsorber berdiameter 5 cm dan tinggi 30 cm dengan rate 0,0022 lt/menit s/d 0,0058 lt/menit, tinggi adsorben dalam kolom 28 cm dan ukuran butir zeolit -20/+28 mesh. Penelitian menghasilkan kondisi terbaik pada aktivasi kimia H₂SO₄ 25% dan kalsinasi meningkatkan perbandingan Si/Al 76,95% dan peningkatan daya serap gas CO₂ 75,5 % pada rate gas masuk adsorber 0,0022lt/menit.

Kata kunci: Adsorben, aktivasi, CO₂, Zeolit

ACTIVATION OF ZEOLITE FOR CO₂ ADSORBENT

Abstract

The activation of zeolites as an adsorbent for capturing CO₂ from biogas has been done chemically and physically it aims at removing organic impurities and obtaining the different cation and zeolite frameworks. Furthermore zeolite activation was intended to modification the zeolites and improve its zeolite characteristics. The chemically treatment is using H₂SO₄ as an activator with varying concentrations in the range of 5% - 30% and physically treatment is calcination at 500 °C for 4 hr. Adsorption process carried out by flowing CO₂ synthetic gas (98.86%) from the bottom of the adsorber column with a flow rate of 0.0022 lt / min until 0.0058 lt / min. Adsorber column have a diameter 5 cm and height of 30 cm, height of adsorbent 28 cm and the grain size of the zeolite -20 /+ 28 mesh. The study resulted in the best condition in chemical activation of 25% H₂SO₄. The calcination increasing ratio Si / Al 76,95% and CO₂ absorption capacity of about 75.5% at flow rate adsorber 0.0022 lt/min.

Keywords: Adsorben, aktivasi, CO₂, Zeolit

PENDAHULUAN

Pengolahan limbah cair vinasse dari industri fermentasi alkohol secara anaerob menggunakan lumpur aktif dari pengolahan kotoran sapi dapat menghasilkan biogas dengan kadar gas methane (CH₄) 42,89 – 58,06 %, dan carbon dioksida 41,94%-58,11 % (Isni et al.,2016). Kadar gas CH₄ melebihi 60% dapat diperoleh dengan cara menghilangkan gas CO₂ menggunakan adsorben. Adsorben zeolit adalah material yang dapat

mengadsorpsi gas berdasarkan karakteristik porinya. Bahan berpori ini dipilih karena mempunyai luas permukaan dalam lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan luarnya (Ulku and Cakicioglu, 1991). Penggunaan material berpori seperti sepiolit, silika dan zeolit sebagai penyerap gas telah banyak dilakukan . Kombinasi Fe₂O₃ dan Fe₃O₄ dengan monmorillonit untuk mengadsorpsi gas H₂S dalam biogas dilakukan oleh (Truong and Abatzoglou, 2005), sedangkan (Cosoli et al., 2008) menggunakan zeolit jenis faujasit ,NaX dan NaY

sebagai adsorben untuk menghilangkan gas H₂S dalam biogas. Menurut (Delgado et al.,2007) untuk memisahkan gas CO₂ dari campuran gas CH₄ dan CO₂ dilakukan dengan menggunakan sepiolit melalui pressure swing adsorption. Berdasarkan penelitian terdahulu zeolit berpotensi untuk mengadsorpsi gas. Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan SiO₄ dan AlO₄ tetrahedra yang dihubungkan oleh atom oksigen membentuk kerangka. Pada kerangka zeolit, tiap atom Al bersifat negatif dan akan dinetralkan dengan kation yang mudah dipertukarkan. Kation yang mudah dipertukarkan yang ada pada kerangka zeolit ini akan berpengaruh dalam proses adsorpsi dan sifat thermal zeolit (Ozkan and 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 (Ackley et al.,2003, Gruszkiewicz et al.,2005). Perubahan rasio Si/Al dari zeolit akan mengubah muatan zeolit sehingga pada akhirnya akan mengubah jumlah kation penyeimbang. Lebih sedikit atom Al artinya lebih sedikit muatan negatif pada zeolit sehingga lebih sedikit pula kation penyeimbang yang ada. Zeolit berkadar Si tinggi bersifat hidrofobik dan mempunyai afinitas terhadap hidrokarbon.

Mengingat struktur zeolit yang bervariasi dan kemungkinan besarnya impurities yang ada, maka sebelum digunakan zeolit membutuhkan perlakuan awal yang disebut sebagai proses aktivasi.

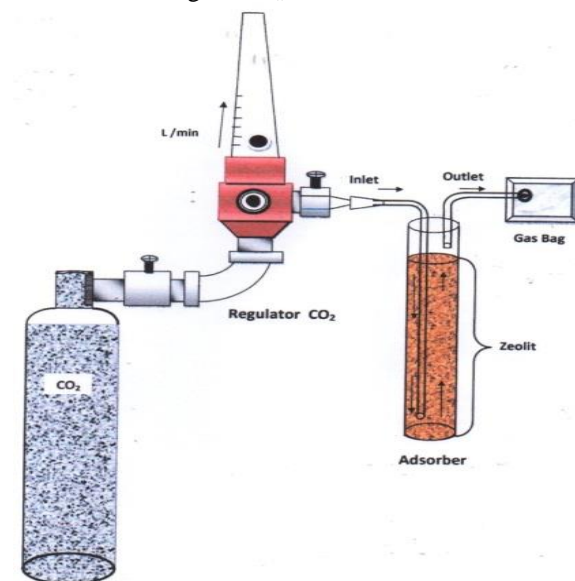
Secara umum proses aktivasi terhadap zeolit dilakukan secara fisik salah satunya dengan pemanasan selama beberapa jam dan secara kimia dengan asam atau basa. Proses aktivasi zeolit secara kimia dengan asam atau basa diperoleh hasil bahwa zeolit yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk and Bowanko, 2002). Perlakuan dengan asam terhadap zeolit akan menyebabkan zeolit menjadi lebih hidrofobik sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Sumin, et al.,2009).

Kemampuan adsorpsi gas dipengaruhi oleh tekstur adsorben. Adsorpsi gas memerlukan adsorben dengan ukuran pori mikro ($d < 20 \text{ \AA}$) karena gas memiliki ukuran molekul yang kecil yakni $< 4 \text{ \AA}$ (Tagliabue et al.,2009). Proses adsorpsi gas oleh adsorben dipengaruhi oleh interaksi van der Waals yang berkaitan dengan polarisabilitas molekul adsorbat dan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben, maka interaksi van der Waals lebih sering terjadi sehingga penyerapan gas semakin besar (Tagliabue et al.,2009). Jika ukuran molekul sebanding dengan ukuran pori adsorben, maka gas akan teradsorpsi ke dalam adsorben. Peristiwa ini disebut dengan mekanisme sterik (Krungleviciute et al.,2008).

Aktivasi zeolit sebagai adsorben gas CO₂ dari biogas dilakukan secara kimia dan fisika dengan tujuan menghilangkan pengotor organik untuk mendapatkan bentuk kation dan kerangka zeolit yang berbeda. Aktivasi zeolit ditujukan untuk modifikasi sifat-sifat zeolit dan memperbaiki karakter zeolit

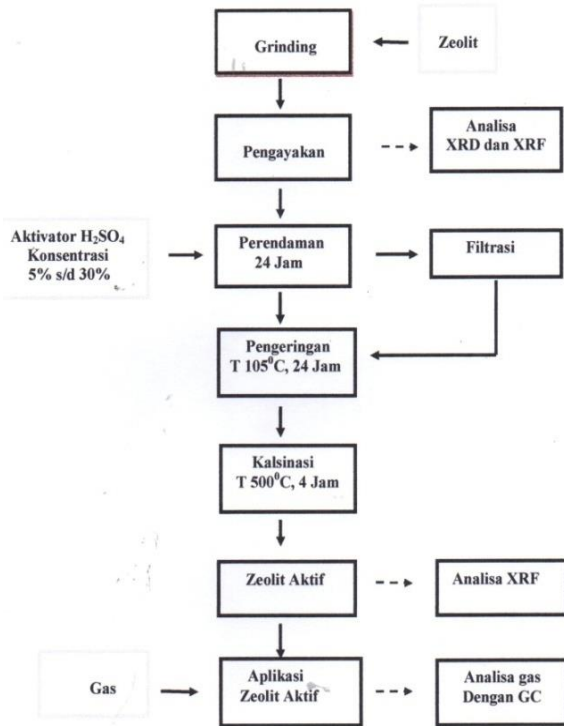
METODE PENELITIAN

Adsorpsi CO₂ dengan zeolit dilakukan di laboratorium menggunakan alat seperti yang terlihat pada Gambar 1. Metode adsorpsi dilakukan secara eksperimental dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah perancangan kolom adsorber yang mempunyai diameter 5 cm, tinggi 30 cm dan tinggi adsorben dalam kolom 28 cm. Tahap kedua adalah zeolit yang mempunyai ukuran butir -20/+28 mesh diaktivasi secara kimia menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi bervariasi pada rentang 5% s/d 30%, dan aktivasi secara fisik dilakukan kalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam. Tahap ketiga proses adsorpsi dilakukan dengan mengalirkan gas CO₂ sintesis 98,86% dari bagian bawah kolom adsorber yang berisi adsorben zeolit dengan rete bervariasi pada rentang 0.0022 lt/menit s/d 0,0058 lt/menit. Gas keluar adsorben ditampung dalam gas bag untuk dianalisa kadar gas CO₂.



Gambar 1. Diagram proses adsorpsi CO₂ dengan adsorben zeolit

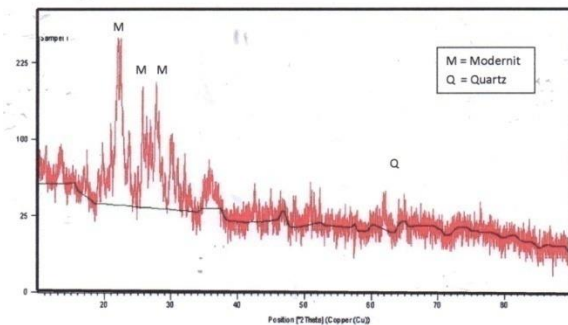
Analisis X-Ray Diffraction zeolit dilakukan untuk mengetahui mineral penyusun zeolit, sedangkan analisis komposisi zeolit menggunakan X-Ray Fluorescence. Gas keluar dari adsorben dianalisa kadar gasnya menggunakan GC.



Gambar 2. Diagram aktivasi zeolit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Kristal zeolit hasil analisa bahan baku dengan X-ray Defraction (XRD) dapat diketahui jenis mineral penyusun zeolite.

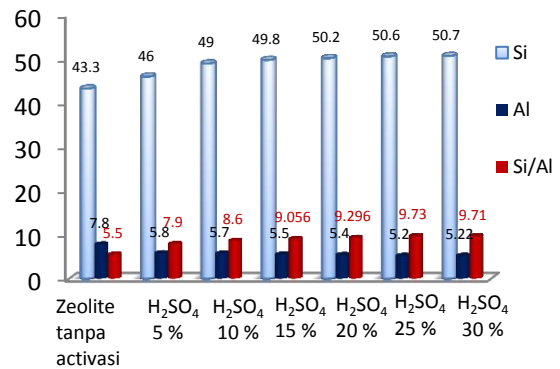


Gambar 3. Hasil analisa XRD zeolite

Gambar 3. menunjukkan mineral penyusun zeolite kebanyakan adalah modernit dan kuarsa. Hal ini dapat dilihat dari puncak tertinggi zeolite yang berada pada $2\theta = 21,98^\circ$ ($d = 4,04\text{\AA}$), $2\theta = 25,69^\circ$ ($d = 3,47\text{\AA}$), $2\theta = 27,74^\circ$ ($d = 3,210$), sedangkan mineral kuarsa ditunjukkan pada $2\theta = 26,35^\circ$ ($d = 3,38$). Menurut referensi mineral modernit memiliki puncak khas bidang d_{150} dengan $2\theta = 22,2^\circ$ ($d = 4,004\text{\AA}$), bidang d_{202} dengan $2\theta = 25,63^\circ$ ($d = 3,476\text{\AA}$), dan bidang d_{511} dengan $2\theta = 27,67^\circ$ ($d = 3,223\text{\AA}$). Berdasarkan data data tersebut dapat disimpulkan bahwa jenis zeolite yang digunakan adalah modernit.

Tabel 1. Karakterisasi XRF zeolite tanpa dan dengan aktivasi .

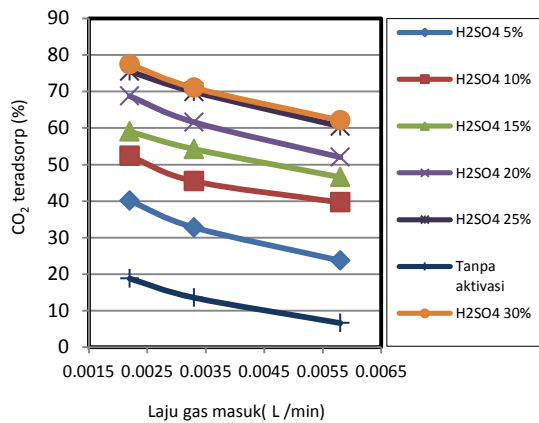
Ko mpo sisi	Zeolit tanpa aktiva si	Zeolit dengan aktivasi					
		H ₂ S O ₄ 5%	H ₂ S O ₄ 10%	H ₂ S O ₄ 15%	H ₂ S O ₄ 20%	H ₂ S O ₄ 25 %	H ₂ S O ₄ 30%
Si	43,3	46	49	49,8	50,2	50,6	50,7
Al	7,8	5,8	5,7	5,5	5,4	5,2	5,22
Ca	11,7	15,9	13,8	15	12,4	13,1	14,4
K	12,3	10,4	10,6	10,3	10	9,22	10,2
Fe	8,75	7,25	6,7	6,57	6,24	5,07	6,26
Na	3,2	2,6	1,8	1,4	0,9	0,7	0,71



Gambar 4. Rasio Si/Al tanpa dan dengan aktivasi

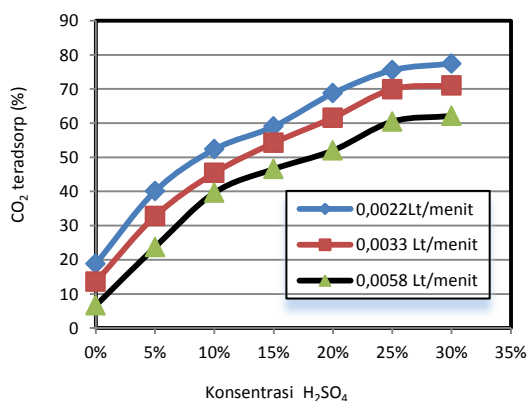
Berdasarkan hasil X - Ray Fluoresense (XRF) pada Tabel 1. menunjukkan hasil analisis bahwa aktivasi zeolite mengakibatkan penurunan kadar logam alkali alkali tanah dan besi (Na,K , Ca dan Fe) , sedangkan rasio Si/Al (Ackley et al.,2003, Gruskiewicz et al., 2005). Proses aktivasi kimia bertujuan menjaga stabilitas struktur pori dan menghilangkan alumina dari kerangka zeolite. Aktivasi dengan H₂SO₄ menyebabkan penurunan kandungan Al pada zeolite disebabkan karena adanya proses dealuminisasi, dimana proses terlepasnya Al didalam kerangka menjadi diluar kerangka. Penurunan komposisi Al dalam zeolite menyebabkan terjadinya peningkatan rasio Si/Al hal ini sesuai dengan penelitian (Jozefaciuk and Bowanko, 2002). Gambar 4. menunjukkan rasio Si/Al tanpa aktivasi adalah 5,5 ,sedangkan dengan aktivasi rasio Si/Al mencapai 9,73 pada konsentrasi aktivator H₂SO₄ 25 % .

Peningkatan rasio Si/Al mengakibatkan penurunan ukuran pori karena rantai Si-O lebih pendek daripada rantai Al-O sehingga ukuran kerangka lebih kecil. Penurunan pori ini juga disertai peningkatan luas permukaan sehingga meningkatkan kontak antara adsorben dan adsorba). Kalsinasi bertujuan untuk menguapkan basa bronsted dan H₂O serta mengatur tata letak atom yang bertukar sehingga terbentuk oksida logam yang stabil .



Gambar 5. Prosentase gas CO₂ terserap zeolite terhadap laju alir CO₂ masuk adsorber

Laju alir CO₂ berpengaruh didalam proses adsorpsi, Gambar 5. menjelaskan tentang kemampuan zeolite dalam mengadsorpsi CO₂ (Tagliabue et al., 2009). Prosentase CO₂ yang teradsorpsi meningkat dengan semakin kecilnya laju alir CO₂ masuk adsorber. Selisih peningkatan prosentase CO₂ yang teradsorpsi berkisar 5-11 % untuk setiap penurunan laju CO₂ masuk adsorber pada rentang 0,0022 L/min s/d 0,0058 % L/min



Gambar 6. Prosentase gas CO₂ teradsorpsi zeolite terhadap Konsentrasi aktivator H₂SO₄

Prosentase gas CO₂ yang teradsorpsi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi aktivator H₂SO₄. H₂SO₄ dapat melarutkan pengotor yang menutupi pori, sehingga pori-pori zeolite menjadi terbuka dan permukaannya menjadi lebih luas (Jozefaciuk and Bowanko, 2002). Gambar 6 menunjukkan prosentase gas CO₂ teradsorpsi zeolite meningkat dengan meningkatnya konsentrasi aktivator H₂SO₄ dan mengalami penurunan pada kadar aktivator 30%. Hal ini karena asam yang pekat menyebabkan banyaknya jumlah Al yang larut sehingga banyak atom yang keluar dari kerangka zeolite yang menyebabkan rusaknya struktur zeolite. Akibatnya daya adsorpsinya menurun.

Kondisi terbaik diperoleh pada aktivasi zeolite dengan konsentrasi aktivator H₂SO₄ 25% daya serap terhadap gas CO₂ 75,5%, pada laju alir 0,0022 L/min.

SIMPULAN

Aktivasi zeolite sebagai adsorben dilakukan secara kimia dan fisik. Kondisi terbaik diperoleh pada perlakuan zeolite dengan aktivator H₂SO₄ 25% dan kalsinasi pada suhu 500°C selama 4 jam dapat meningkatkan perbandingan Si/Al 76,95%. Uji efektifitas daya serap zeolite terhadap gas CO₂ sebesar 75,5 % pada rate gas masuk adsorber 0,0022 L/min

DAFTAR PUSTAKA

- Ackley, M.W., Rege, S.U., and Saxena, H., 2003, Application of natural zeolites in the purification and separation of gases, *Journal microporous and mesoporous materials*, 61, pp.25-42
- Cosoli, P., Ferrone, M., and Fermeiglia, M., 2008 Hydrogen Sulphide removal from biogas by zeolite adsorption Part I. GCMC molecular simulation, *Chemical Engineering Journal*, 145, 86-92
- Dalgado, J.A., Uguina, M.A., Sotelo, J.L., Ruiz, B., and Rosario, M., 2007, Carbon dioxide-methane separation by adsorption on sepiolite, *Journal of natural gas chemistry*, 26, 235 – 243
- Gruszkiewicz, M.S., Simonson, J.M., Burchell, T.D., and Cole, D.R., 2005, Water adsorption and desorption on microporous solids at elevated temperature, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 81, pp 609-615
- Isni utami, Sri Redjeki, Dwi Hery A., and Sani., 2016, Biogas production and removal COD – BOD and TSS from wastewater industrial alcohol (vinasse) by modified UASB bioreactor, *Matec Web of conferences* 58, 01005
- Jozefaciuk, G., and Bowanko, G., 2002, Effect of acid and alkali treatments on surface areas and adsorption energies of selected minerals, *Journal clay and clay minerals*, 50(6), pp.771-783
- Krungleviciute, V., Lask, K., Migone, D.D., Lee, J.Y., and Li, J., 2008, Kinetic and equilibrium of gas absorption on RPM1 – Co and Cu – BTC metal organic frameworks potential for gas separation applications, *AIChE*, 54 (4), 919 - 922
- Ozkan, F.C., and Ulku, S., 2008, Diffusion mechanism of water vapour in a zeolitic tuff rich in clinoptilolite, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 94, pp.699-702

- Sumin,L., Youguang, M.A., Chunying, Z., Shuhua,S., and Qing, H.E., 2009, The effect of hydrophobic modification of zeolites on CO₂ absorption enhancement, *Chinese Journal of chemical engineering* ,17(1),pp. 36-41
- Tagliabue, M., Farruseng , D., Valencia, S.,Aguado, S.,Ravon,U., Rizzo,C.,Corma, A.,and Mirodatos , C., 2009, Natural gas treating by selective adsorption , *Material science and chemical engineering interplay* , *Chemical engineering journal*, 155, 553-566
- Truong , L.V.,and Abatzoglou, N., 2005, A H₂S reactive adsorption process for the purification of biogas prior to its use as a bioenergy vector, *Biomass and Bioenergy* ,29 , 142 – 151
- Ulku, S.,Cakicioglu, F.,1991, Energy Recovery in Drying Application , *Renewable Energy*, 1(5/6),pp.695-698