

## DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM TERMODIFIKASI

### APPLICATION OF MODIFIED ZEOLITES FOR BIOETHANOL DEHYDRATION

Khaidir<sup>1)</sup>, Dwi Setyaningsih<sup>2)\*</sup>, dan Hery Haerudin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh Lhokseumawe  
Email: khaidirsufi77@yahoo.com; khaidir.tip07@gmail.com

<sup>2)</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

<sup>3)</sup>Riset dan Pengembangan, Pertamina Pulogadung Jakarta Timur

#### ABSTRACT

*Bioethanol dehydration was carried out using five modified natural zeolites (ZAM). This study aimed to get the best conditions of bioethanol dehydration and to determine the increasing of bioethanol grades for each modified zeolite. Bioethanol dehydration process was carried out using a batch adsorption. The content of ethanol in bioethanol increased after adsorption process for each zeolite. The increased percentages of bioethanol grades in the immersion method using ZAM1 and ZAM4 with bioethanol of 90% (v/v) were 1.22% and 1.38%, while with bioethanol of 95% the percentage were 1.27% and 1.08%, respectively. Meanwhile the resulted grades of bioethanol using purely natural zeolites with bioethanol of 90% and 95% were 0.62% and 0.72% respectively. In general, the grade of ethanol increased after the adsorption process that uses all modified zeolites samples.*

*Keywords: bioethanol, modified zeolites, bioethanol dehydration*

#### ABSTRAK

Proses dehidrasi bioetanol dilakukan menggunakan zeolit alam termodifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi proses dehidrasi bioetanol terbaik pada masing-masing sampel zeolit dan mengetahui besarnya persentase kenaikan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam hasil modifikasi. Proses dehidrasi dilakukan menggunakan metode perendaman (adsorpsi). Kandungan bioetanol meningkat setelah proses adsorpsi pada semua sampel zeolit. Persentase kenaikan kadar bioetanol menggunakan ZAM1 dan ZAM4 pada dehidrasi bioetanol 90% berturut-turut adalah 1,22% dan 1,38%, sedangkan pada bioetanol 95% adalah sebesar 1,27% dan 1,08%. Sementara itu besarnya peningkatan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam murni pada bioetanol 90% dan 95% berturut-turut adalah 0,62% dan 0,72%. Secara umum terjadi peningkatan kadar bioetanol setelah proses adsorpsi untuk semua sampel zeolit yang digunakan.

Kata kunci: bioetanol, zeolit termodifikasi, dehidrasi bioetanol

#### PENDAHULUAN

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) menggunakan bantuan ragi/yeast terutama jenis *Saccharomyces cerevisiae*. Pemisahan bioetanol selanjutnya dilakukan dengan destilasi. Kemampuan proses destilasi terbatas dalam pemurnian etanol yaitu hingga 95-97,2% (Onuki, 2006). Proses produksi bioetanol berbeda dengan proses produksi etanol yang umum digunakan dalam industri etanol. Etanol skala industri dihasilkan melalui hidrasi senyawa alkena dengan uap air menggunakan katalis  $\text{SiO}_2$  padat yang dilapisi dengan asam fosfat (Clark, 2007). Proses ini berjalan sangat cepat dan etanol yang diperoleh memiliki kemurnian yang tinggi. Kendala proses ini adalah jumlah bahan baku senyawa alkena yang terbatas. Produksi bioetanol di lain pihak tidak terkendala oleh sumber bahan baku karena dapat menggunakan tanaman yang mengandung karbohidrat dan bersifat terbarukan (*renewable*).

Umumnya kadar bioetanol dari proses fermentasi masih rendah yaitu 10%. Jika bioetanol

ingin digunakan sebagai bahan bakar (*biofuel*), maka konsentrasi ini perlu ditingkatkan hingga 99% sebagai persyaratan *fuel grade ethanol* (FGE). Salah satu cara untuk meningkatkan kadar bioetanol adalah dengan proses dehidrasi untuk memperoleh etanol dengan kadar lebih besar dari 99% (Onuki, 2006).

Dehidrasi bioetanol pada penelitian ini menggunakan zeolit *molecular sieve* hasil modifikasi zeolit alam dari Indonesia. Pemilihan zeolit alam sebagai bahan penyerap pada proses dehidrasi bioetanol didasarkan pada pertimbangan ketersediaan zeolit yang melimpah di Indonesia serta harga zeolit alam yang relatif jauh lebih murah dibandingkan zeolit sintetis yang ketersediaannya harus diimpor. Modifikasi zeolit yaitu aluminasi hidrotermal dilakukan pada suhu 95-100°C menggunakan sumber tiga jenis alumina yaitu aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), aluminium nitrat  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , dan tawas.

Proses dehidrasi bioetanol menggunakan berbagai zeolit *molecular sieve* secara adsorpsi disajikan dalam Tabel 1. Sistem adsorpsi yang digunakan meliputi *batch adsorption* (Carmo dan

Gubulin,1997; Ivanova *et al.*,2009), kolom perkolasi (Igbokwe *et al.*, 2008), membran pervaporasi (Ling *et al.*, 2008; Zhan *et al.*, 2009), *pressure swing adsorption* (Pruksathorn dan Vitidsant, 2009), maupun *vacuum swing adsorption* (Wahyudi, 2010). Waktu proses atau waktu kontak berkisar antara 30 menit sampai 7 hari. Proses adsorpsi pada penelitian ini menggunakan teknik perendaman dan destilasi.

### METODE PENELITIAN

#### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah NaOH, KOH, kaolin, tawas, HCl, Aluminium nitrat, Aluminium oksida, zeolit alam ukuran 3 mm dan bubuk ukuran 150 mesh (CV. Transindo Utama-Bandung), zeolit sintetis 3A, bioetanol, etanol absolut, aqua DM, dan bahan kimia lainnya.

Peralatan yang digunakan adalah timbangan, *hot plate*, oven, tanur, termometer, *magnetic stirrer*, *stirrer-heater*, erlenmeyer, densitometer (DMA

4500M Anton Paar) peralatan gelas dan pendukung lainnya.

#### Persiapan Adsorben

Penelitian ini menggunakan 6 jenis adsorben yaitu ZAM1, ZAM2, ZAM3, ZAM4, ZAM5, ZA serta Z3A sebagai pembanding. ZA adalah zeolit alam, sedangkan Z3A adalah zeolit sintetis dengan ukuran pori 3 Amstrong. Persiapan zeolit termodifikasi pada penelitian ini menggunakan teknik metode aluminasi langsung tanpa perlakuan asidifikasi. Sumber alumina berupa aluminium oksida, aluminium nitrat, tawas, dan kaolin langsung ditambahkan ke dalam campuran reaksi. Proses sintesis ZAM1 merupakan perpaduan metode dari Plee (1992) dengan Kuznicki *et al.* (2002), Tissler *et al.* (1992), Vaughan (1985), dan Leonard (1981). Sementara ZAM2 – ZAM5 menggunakan metode Vaughan (1985) yang dipadukan dengan metode Kuznicki *et al.* (2002).

Tabel 1. Proses dehidrasi etanol menggunakan zeolit *molecular sieve*

Sumber	Jenis zeolit	Kondisi proses	Hasil
Carmo & Gubulin (1997)	Zeolit sintetis 3A (bentuk bulat dan silinder) <sup>(1)</sup>	Sistem <i>batch</i> , rasio massa zeolit : EtOH = 1 : 3, 25- 60°C, pengadukan selama ± 7 hari, aktivasi zeolit pada 300°C, 24 jam, penyimpanan dalam desikator vakum	Kapasitas adsorpsi air sama untuk bentuk zeolit bulat dan silinder
Al-Asheh <i>et al.</i> (2004)	Zeolit sintetis 3A, 4A, dan 5A <sup>(2)</sup>	Persentase air dalam larutan 5%-12% (b/b), <i>fixed bed adsorber</i>	Zeolit 3A memiliki kemampuan tertinggi dalam mengadsorpsi air
Igbokwe <i>et al.</i> (2008)	Zeolit pelet (dari kaolin) dan kaolin <sup>(3)</sup>	Kolom perkolasi, aktivasi zeolit pada 500°C	Kapasitas adsorpsi air dari kaolin lebih efektif jika dibandingkan dengan kaolin kasar
Ling <i>et al.</i> (2008)	<i>zeolite-clay powder</i> <sup>(4)</sup>	PVA Membran Pervaporasi, konsentrasi etanol 10-90% (b/b), proses 30-70°C	Membran relatif hidrofil dan sesuai untuk separasi campuran etanol-air
Zhan <i>et al.</i> (2009)	ZSM-5, PDMS <sup>(5)</sup>	Membran Pervaporasi, suhu 40°C – 80°C, tekanan 100 Pa, kadar etanol 5 – 90%.	Performa pervaporasi baik untuk konsentrasi etanol rendah. Faktor pemisahan turun drastis dengan peningkatan kadar etanol.
Ivanova <i>et al.</i> (2009)	Klinoptilolit alam <sup>(6)</sup>	Adsorpsi skala lab, waktu kontak 24 jam, rasio zeolit/EtOH 1 : 3, aktivasi termal 2 jam pada 200°C	Memungkinkan untuk pengeringan etanol dari campuran larutan dengan air
Wahyudi (2010)	Zeolit 3A dan ZAM PT. BPE <sup>(7)</sup>	<i>Vacuum Swing Adsorption</i> , tekanan minimal 20 cmHg, rasio zeolit/bioetanol 1 : 1, suhu kolom 80°C	Kapasitas adsorpsi air Z3A sintetis relatif tinggi, tetapi tingkat selektifitas terhadap senyawa pengotor lebih rendah
Diaz <i>et al.</i> (2010)	Zeolit A (Z4A) <sup>(8)</sup>	Proses dehidrasi pada suhu 30°C Etanol yang digunakan 80-90% (b/b)	Terjadi peningkatan kadar etanol

**Proses Adsorpsi**

Proses adsorpsi menggunakan perbandingan material zeolit dengan etanol 1:2, yang dilakukan menggunakan 2 metode yaitu destilasi dan metode perendaman (*batch adsorption*). Metode destilasi menggunakan etanol kadar 95%, dilakukan dengan tahapan proses pengadukan selama 1 jam (suhu 55°C) yang dilanjutkan dengan proses destilasi pada suhu 75°C selama ± 30 menit. Proses perendaman menggunakan etanol kadar 90% yang dilakukan selama 24 jam. Zeolit bekas pada kedua metode tersebut diregenerasi (diaktivasi kembali) untuk digunakan pada proses dehidrasi selanjutnya. Diagram proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengamatan dilakukan terhadap persentase kenaikan kadar bioetanol (PKB) yang dihitung dengan persamaan 1.

$$PKB = \frac{(\% \text{ etanol akhir} - \% \text{ etanol awal})}{\% \text{ etanol awal}} \times 100\% \dots\dots (1)$$

Kadar bioetanol diukur menggunakan *density meter* dengan kondisi pengujian pada suhu 20°C, yang diukur sebagai % v/v 01ML-ITS-90. Prinsip pengukuran berdasarkan perbandingan densitas terhadap sampel standar (etanol murni) yang telah tersimpan pada alat setelah dikalibrasi. Pengukuran densitas didasarkan pada pengukuran elektronik frekuensi osilasi dari kerapatan sampel

yang dianalisis. Densitas sampel berupa campuran bioetanol dan air berkorelasi dengan kadar etanolnya. Semakin tinggi kadar etanol maka densitas semakin kecil.

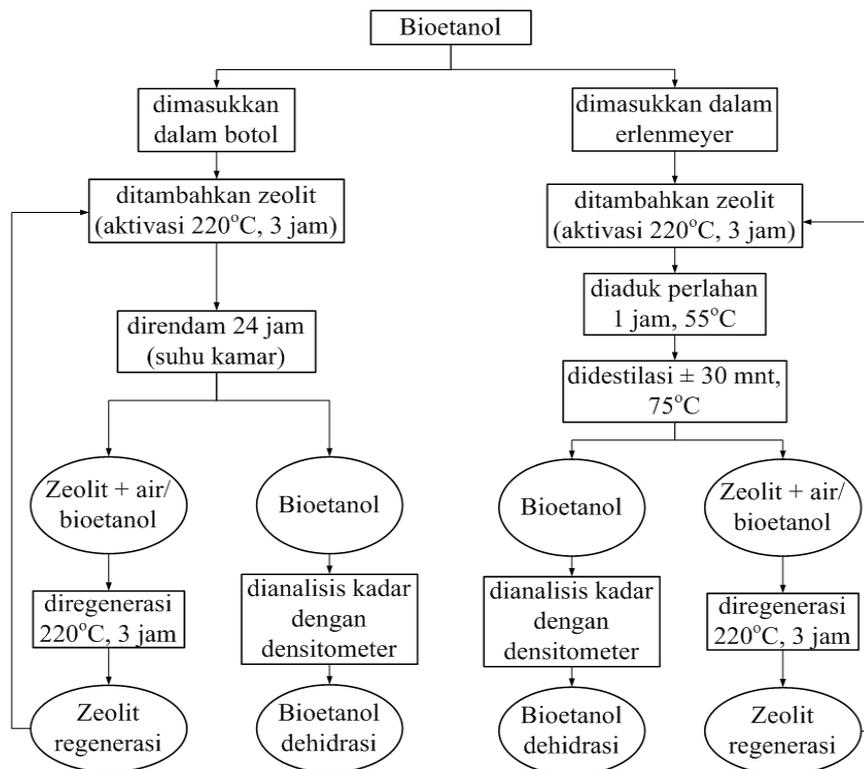
**Penyajian Data**

Analisis data dilakukan dengan metode statistik menggunakan dua faktor yaitu jenis zeolit (Z), dan pemakaian zeolit (P) dengan dua taraf (baru/awal dan *reuse/regenerasi*) dengan 3 kali ulangan. Uji lanjut Duncan dilakukan untuk melihat pengaruh perlakuan parameter terhadap peningkatan kadar bioetanol setelah proses adsorpsi. Pengolahan data menggunakan *software SAS* versi 9.2.

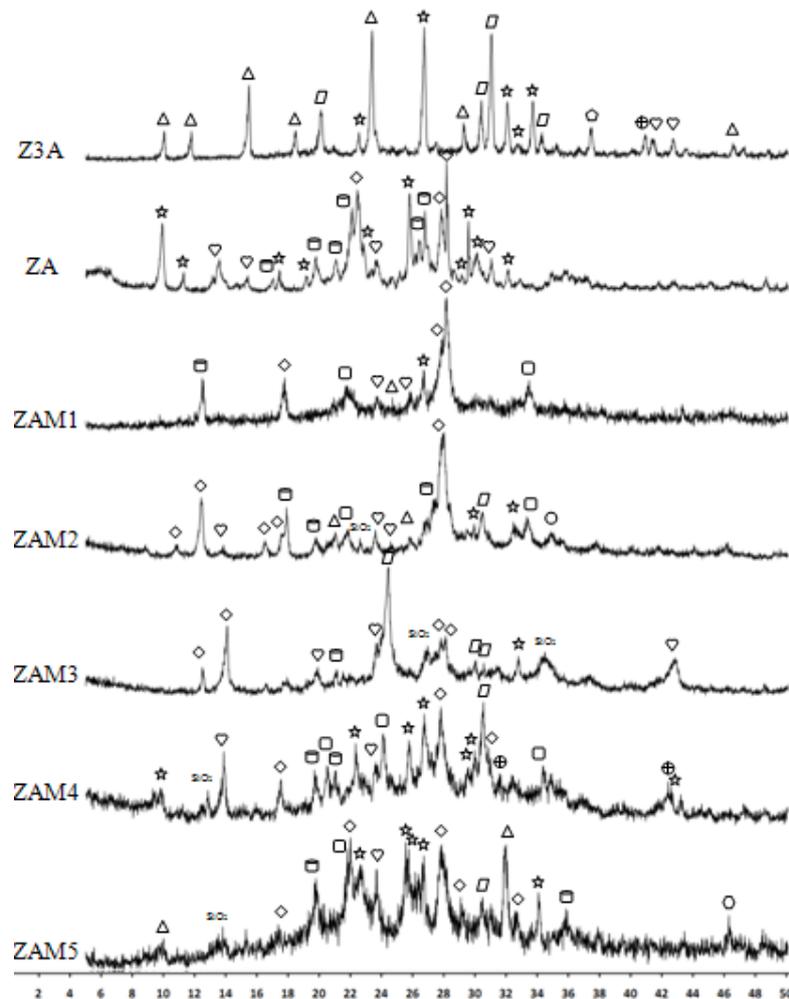
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Karakteristik zeolit alam modifikasi**

Modifikasi zeolit dilakukan melalui metode penambahan ion aluminium ke dalam kerangka zeolit alam sehingga nantinya diharapkan memiliki sifat-sifat yang serupa dengan zeolit sintetis 3A. Proses penambahan ion aluminium ke dalam kerangka zeolit dapat dilakukan salah satunya dengan metode Aluminasi Langsung. Modifikasi zeolit akan dapat merubah komposisi kimia, karakteristik pori serta struktur dari zeolit. Pola difraksi sinar X yang menunjukkan struktur zeolit untuk sampel zeolit alam dan zeolit hasil modifikasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir proses adsorpsi melalui metode perendaman



Gambar 2. Pola difraksi sinar-X sampel zeolit

Dari pola difraksi sinar X yang ada dan dibandingkan dengan pola difraksi sinar-X standar beberapa sampel zeolit, maka diduga bahwa sampel zeolit alam yang digunakan pada penelitian ini merupakan campuran jenis klinoptilolit, mordenit, gismondin, dan filipsit. Berdasarkan Gambar 2, sampel zeolit yang telah dimodifikasi menggunakan sumber aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ , dan tawas) sudah mengarah kepada pembentukan struktur zeolit A. Hal tersebut didasarkan pada pola difraksi sinar-X pada Gambar 2 yang dicocokkan dengan sumber data pola difraksi sinar-X dari *software* JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*), serta koleksi pola difraksi sinar-X dari Treacy & Higgins (2007).

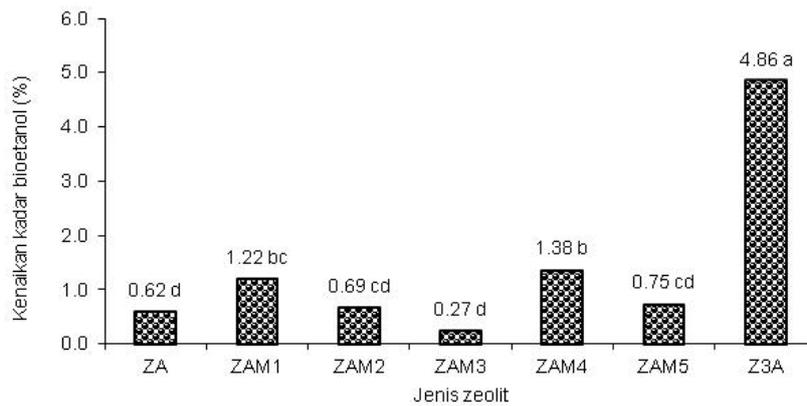
#### Proses Adsorpsi Menggunakan Zeolit Alam Modifikasi

Proses adsorpsi terhadap bioetanol 90% menggunakan zeolit alam hasil modifikasi dapat meningkatkan kadar bioetanol sebesar 0,27 - 1,38% sedangkan dengan penggunaan zeolit alam murni hanya 0,62% sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Persen peningkatan kadar bioetanol tertinggi

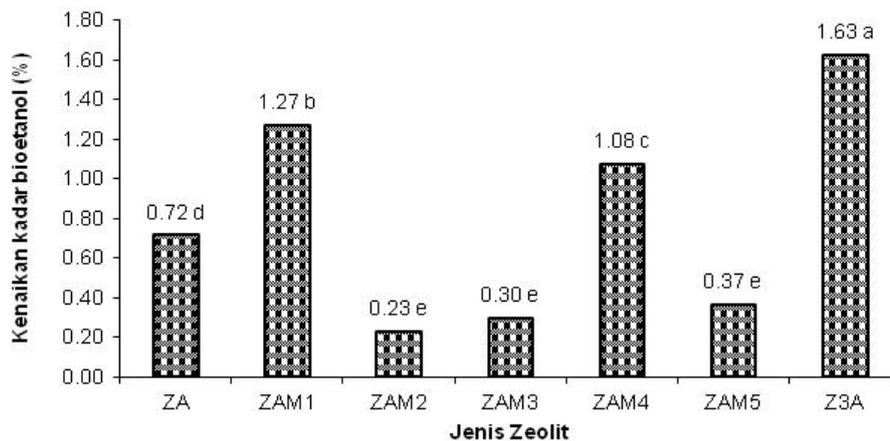
dimiliki oleh zeolit modifikasi 4 (ZAM4) yang diperoleh melalui proses aluminiasi langsung dengan perlakuan basa dan sumber alumina berasal dari tawas. Zeolit modifikasi 1 (ZAM1) yang diperoleh melalui proses kalsinasi dan sumber alumina berasal dari aluminium oksida juga menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda.

Hasil yang tidak jauh berbeda juga ditunjukkan pada proses adsorpsi bioetanol 95% dengan metode destilasi. Perolehan peningkatan kadar bioetanol adalah sebesar 0,23-1,27%, sedangkan persentase kenaikan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam murni adalah 0,72% (Gambar 4). Peningkatan tertinggi diperoleh menggunakan ZAM1 yang diikuti oleh ZAM4.

Proses modifikasi zeolit alam dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi zeolit karena perlakuan yang diberikan dapat menghilangkan unsur-unsur pengotor, menguapkan air yang terperangkap dalam zeolit alam serta merubah struktur zeolit. Kapasitas adsorpsi berhubungan dengan luas permukaan dan ukuran pori zeolit, serta rasio Si/Al.



Gambar 3. Persentase kenaikan kadar bioetanol 90% dengan zeolit alam modifikasi



Gambar 4. Persentase kenaikan kadar bioetanol 95% dengan zeolit alam modifikasi

Luas permukaan zeolit semakin besar, maka kemampuan zeolit untuk menyerap senyawa-senyawa lain akan semakin baik. Hal ini disebabkan oleh permukaan interaksi yang lebih luas. Begitu juga dengan volume pori, semakin besar volume pori, maka akan semakin besar daya tampung dari senyawa-senyawa yang akan terjerap dalam pori-pori zeolit. Dari hasil analisa karakteristik pori zeolit terbukti bahwa luas permukaan dan volume pori ZAM 4 lebih besar dibanding zeolit modifikasi lainnya, akan tetapi masih jauh lebih rendah dibanding zeolit sintetis (Z3A). Luas permukaan dan volume pori ZAM 4 masing-masing adalah  $17 \text{ (m}^2\text{/g)}$  dan  $7,17 \times 10^{-3} \text{ (cm}^3\text{/g)}$ . Zeolit sintetis juga memiliki diameter pori yang lebih kecil dibandingkan zeolit modifikasi lainnya. Hal inilah yang menyebabkan tingginya kenaikan kadar etanol pada proses dehidrasi menggunakan zeolit sintetis karena memiliki kapasitas adsorpsi yang besar dan selektivitas yang tinggi.

Pada kasus dehidrasi bioetanol, luas permukaan dan volume pori berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi zeolit terhadap molekul-molekul air yang terkandung dalam campuran

etanol-air. Semakin besar luas permukaan, maka akan semakin besar kemampuannya untuk berinteraksi dan berikatan dengan molekul-molekul air dalam bioetanol. Begitu juga dengan volume pori yang besar akan mampu menampung lebih banyak molekul-molekul air yang terjerap dalam pori-pori zeolit. Pada proses dehidrasi bioetanol, diharapkan bahwa pori-pori zeolit yang terbaik adalah yang memiliki ukuran pori yang paling kecil yang tentunya disesuaikan dengan ukuran molekul air dan bioetanol yang akan dipisahkan.

**Proses Regenerasi (Penggunaan Ulang) Zeolit Alam Modifikasi Untuk Dehidrasi**

Percobaan adsorpsi menggunakan zeolit hasil regenerasi dimaksudkan untuk melihat kemampuan penggunaan ulang (*reuse*) zeolit pada proses dehidrasi. Berdasarkan hasil uji Duncan data persentase kenaikan kadar etanol menggunakan zeolit awal dan zeolit hasil regenerasi (ulang) pada Tabel 2 maka terlihat bahwa zeolit ulang dapat digunakan kembali untuk proses dehidrasi selanjutnya. Kemampuan zeolit dalam menaikkan kadar bioetanol tidak menunjukkan penurunan yang

signifikan antara zeolit awal dan zeolit pemakaian ulang. Perbedaan secara signifikan hanya terjadi pada sampel zeolit sintesis (Z3A) yang mengalami penurunan ketika digunakan ulang pada tahap dehidrasi selanjutnya yaitu sebesar 5,50% untuk awal dan 4,22% untuk zeolit ulang. Proses regenerasi zeolit dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu 220°C selama 3 jam.

Tabel 2. Pengaruh jenis zeolit dan pemakaian ulang zeolit terhadap persentase kenaikan kadar bioetanol 90%

Sampel zeolit	Persentase kenaikan kadar bioetanol (%)	
	Awal	Ulang
ZA	0,8837 <sup>cde</sup>	0,2175 <sup>de</sup>
ZAM1	1,3393 <sup>c</sup>	1,1003 <sup>cd</sup>
ZAM2	0,9675 <sup>cde</sup>	0,4130 <sup>de</sup>
ZAM3	0,2120 <sup>e</sup>	0,3185 <sup>de</sup>
ZAM4	1,4583 <sup>c</sup>	1,2710 <sup>c</sup>
ZAM5	0,6837 <sup>cde</sup>	0,8253 <sup>cde</sup>
Z3A	5,5043 <sup>a</sup>	4,2217 <sup>b</sup>

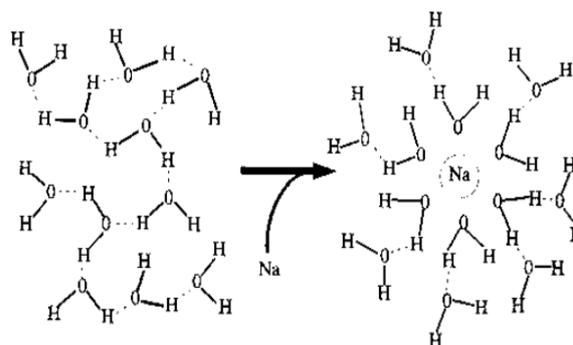
Keterangan: Huruf yang sama pada baris yang sama tidak berbeda menurut uji Duncan

Hasil uji Duncan menjelaskan bahwa kemampuan peningkatan kadar bioetanol pada masing-masing sampel zeolit setelah regenerasi tidak mengalami penurunan yang signifikan. Kemampuan zeolit setelah regenerasi hampir sama dengan pada saat penggunaan pertama, dengan kata lain zeolit tersebut masih layak untuk digunakan kembali pada proses dehidrasi bioetanol selanjutnya.

Rasio Si/Al dalam sampel zeolit berperan penting dalam proses adsorpsi air. Zeolit dengan rasio Si/Al paling kecil akan mampu mengikat air lebih banyak karena bersifat lebih hidrofilik. Selain rasio Si/Al, proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh ion-ion logam yang melingkupi permukaan zeolit, sebagai contoh ion Na<sup>+</sup>. Zeolit dengan kandungan logam natrium lebih tinggi akan lebih mudah mengikat air dibandingkan yang lainnya. Jadi, molekul-molekul air tidak hanya terperangkap dalam pori-pori zeolit, tetapi berinteraksi juga dengan ion natrium yang mengelilingi permukaan zeolit. Gambar 5 menunjukkan molekul-molekul air terkumpul pada kation Na (Byrappa dan Yoshimura, 2001).

Pada percobaan ini persentase kenaikan kadar bioetanol setelah proses adsorpsi tidaklah begitu besar. Hal tersebut disebabkan oleh bahan yang terjerap dalam pori-pori zeolit masih bercampur antara bioetanol dengan air dalam fase cair. Pada prinsipnya proses adsorpsi melalui cara perendaman adalah pengikatan air secara fisika. Metode pemisahan yang lebih baik terhadap campuran etanol-air dapat dilakukan dalam fase uap dengan kondisi yang terkontrol dengan baik,

sehingga fungsi zeolit sebagai material *molecular sieve* akan lebih optimal.



Gambar 5. Diagram interaksi air dengan kation natrium (Na)

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa secara umum terjadi peningkatan kadar etanol setelah proses adsorpsi untuk semua sampel zeolit yang digunakan. Persentase kenaikan kadar bioetanol menggunakan ZAM1 dan ZAM4 pada dehidrasi bioetanol 90% berturut-turut adalah 1,22% dan 1,38%, sedangkan pada bioetanol 95% adalah sebesar 1,27% dan 1,08%. Sementara itu besarnya peningkatan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam murni pada bioetanol 90% dan 95% berturut-turut adalah 0,62% dan 0,72%.

### Saran

Saran untuk kelanjutan proses penelitian ini adalah perlunya pengaturan kondisi proses dehidrasi bioetanol skala laboratorium dengan baik sehingga dapat memberikan hasil yang optimal, serta perlunya penentuan kondisi optimum proses dehidrasi bioetanol skala laboratorium sehingga penggunaan zeolit alam termodifikasi dalam dehidrasi bioetanol dapat memberikan hasil yang optimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pemerintah Nanggroe Aceh Darussalam melalui Universitas Malikussaleh dan Kementerian Ristek Republik Indonesia melalui Program Insentif Peningkatan Kapasitas Iptek Sistem Produksi atas biaya penelitian yang telah diberikan sehingga terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Al-Asheh S, Banat F, dan Al-Lagtah N. 2004. Separation of Ethanol-Water Mixtures Using Molecular Sieves and Biobased Adsorbents. *Chem Eng Res Design* 82 (A7):855-864.

- Byrappa K dan Yoshimura M. 2001. *Handbook of Hydrothermal Technology : A Technology for Crystal Growth and Materials Processing*. New York: William Andrew.
- Carmo MJ dan Gubulin JC. 1997. Ethanol-Water Adsorption on Commercial 3A Zeolite : Kinetic and Thermodynamic Data. *Braz J Chem Eng*. 14 (3).
- Clark J. 2007. *Pembuatan Alkohol dalam Skala Produksi*. <http://www.chem-is-try.org>. [07 Juli 2011].
- Díaz JC, Gil-Chávez ID, Giraldo L, Moreno-Piraján JC. 2010. Separation of Ethanol-Water Mixture Using Type-A Zeolite Molecular Sieve. *E J Chem*. 7:483-495.
- Igbokwe PK, Okolomike RO, dan Nwokolo SO. 2008. Zeolite for Drying of Ethanol-Water and Methanol-Water Systems from Nigerian Clay Resource. *J Univ Chem Technol Metal*. 43 (1):109-112.
- Ivanova E, Damgaliev D, dan Kostova M. 2009. Adsorption Separation of Ethanol-Water Liquid Mixtures by Natural Clinoptilolite. *J Univ Chem Technol Met*. 44 (3):267-274.
- Ling LK, Ghazali M, dan Sadikin AN. 2008. Pervaporation of Ethanol-Water Mixture Using PVA Zeolite-Clay Membranes. *J Teknol*. 49 (F):167-177.
- Onuki S. 2006. *Bioethanol : Industrial production process and recent studies*. [www.public.iastate.edu/~tge/courses/ce521/sonuki.pdf](http://www.public.iastate.edu/~tge/courses/ce521/sonuki.pdf). [13 Februari 2009].
- Pruksathorn P dan Vitidsant T. 2009. Production of Pure Ethanol from Azeotropic Solution by Pressure Swing Adsorption. *Am J Eng App Sci*. 2 (1):1-7.
- Wahyudi D. 2010. *Desain Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Molecular sieve dengan Teknik Vacuum Swing Adsorption* [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zhan X, Li JD, Chen J, Huang JQ. 2009. Pervaporation of Ethanol/Water Mixtures With High Flux by Zeolite-Filled PDMS/PVDF Composite Membranes. *Chin J Polym Sci*. 27 (6):771-780.