

AKTIVASI ZEOLIT ALAM SEBAGAI ADSORBEN PADA ALAT PENGERING BERSUHU RENDAH

Laeli Kurniasari^{1*)}, Mohammad Djaeni²⁾, dan Aprilina Purbasari²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim
Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang, Telp. (024)8505680

²⁾Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang, Telp: (024)7460058

^{*)}Penulis korespondensi: laeli_kurniasari@yahoo.co.id

Abstract

ACTIVATION OF NATURAL ZEOLITE AS AN ADSORBENT FOR LOW TEMPERATURE DRYING SYSTEM. *Drying is one process which is used in many industries, especially in food product. The process usually still has low energy efficiency and can make food deterioration because of the usage of high temperature. One alternative in drying technology is the use of zeolite as a water vapor adsorbent. This kind of drying method make it possible to operate in lower temperature, hence it will be suitable for heat sensitive product. Natural zeolite can be one promising adsorbent since it is spreadly abundant in Indonesia. Natural zeolite must be activated first before used, in order to get zeolite with high adsorption capacity. Activation process in natural zeolite will change the Si/Al ratio, polarity, and affinity of zeolite toward water vapor and also increase the porosity. Activation of natural zeolite can be done with two methods, chemical activation use NaOH and physical activation use heat. In the activation using NaOH, natural zeolite is immersed with NaOH solution 0.5-2N in 2 hour with temperature range 60-90°C. The process is continued with the drying of zeolite in oven with 110°C for 4 hours. While in heat treatment, zeolite is heated into 200-500°C in furnace for 2-5 hours. SEM analysis is used to compare the change in zeolite morphology before and after each treatment, while to know the adsorption capacity of zeolite, the analyses were done in many temperature and relative humidity. Result gives the best condition in NaOH activation is NaOH 1N and temperature 70°C, with water vapor loading is 0.171 gr/gr adsorbent. In heat treatment, the best condition is 300°C and 3 hours with loading 0.137 gr water vapor/gr adsorbent.*

Keywords: *activation; adsorption; natural zeolite*

Abstrak

Pengeringan merupakan salah satu proses yang banyak digunakan pada produk pangan. Proses ini umumnya menyebabkan kerusakan pada bahan pangan, disamping masih rendahnya efisiensi energi. Salah satu alternatif pada proses pengeringan yaitu penggunaan zeolit sebagai adsorben uap air. Proses pengeringan dengan menggunakan zeolit sebagai adsorben ini memungkinkan operasi pengeringan dilakukan pada suhu rendah sehingga sesuai untuk bahan yang tidak tahan panas. Zeolit alam merupakan salah satu alternatif bahan adsorben. Akan tetapi zeolit ini harus diaktivasi terlebih dahulu untuk mendapatkan zeolit dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi. Proses aktivasi pada zeolit akan merubah rasio Si/Al zeolit, polaritas serta afinitas zeolit terhadap air dan meningkatkan pori-pori zeolit. Adsorpsi zeolit alam dilakukan dengan dua cara yaitu dengan NaOH dan dengan panas. Pada aktivasi dengan NaOH, zeolit dicampur dengan NaOH 0,5-2N selama 2 jam pada suhu 60-90°C. Sementara pada aktivasi fisis, zeolit dipanaskan pada 200-500°C selama 2-5 jam. Untuk mengetahui perubahan struktur pori zeolit maka dilakukan analisa SEM dan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi zeolit maka dilakukan analisa daya adsorpsi zeolit terhadap uap air pada berbagai suhu dan berbagai kelembaban relatif. Hasil menunjukkan bahwa pada aktivasi dengan NaOH diperoleh kondisi aktivasi terbaik adalah NaOH 1N pada pemanasan 70°C dengan daya adsorpsi 0,171 gr uap air/gr adsorben. Sementara untuk aktivasi dengan panas, kondisi aktivasi terbaik adalah pemanasan 300°C selama 3 jam dengan daya adsorpsi 0,137 gr uap air/gr adsorben.

Kata kunci : *aktivasi; adsorpsi; zeolit alam*

PENDAHULUAN

Proses pengeringan merupakan salah satu proses yang banyak dilakukan di industri kimia, industri makanan maupun industri obat-obatan. Sebagai salah satu proses yang banyak digunakan, operasi pengeringan pada industri pangan dan obat membutuhkan energi sekitar 15% dari total kebutuhan energi, sedangkan kebutuhan energi untuk pengeringan diberbagai negara bervariasi sekitar 15-20% dari total kebutuhan energi di industri (Djaeni, 2008). Jumlah ini tergolong cukup besar, sehingga pengembangan proses pengeringan semakin diarahkan pada penemuan metode pengeringan dengan laju pengeringan yang tinggi dengan disertai peningkatan efisiensi energi.

Salah satu alternatif pengembangan proses pengeringan adalah proses pengeringan adsorpsi (*adsorption drying*). Pada proses ini, uap air dalam udara dijerap oleh adsorben, sehingga udara menjadi lebih kering. Pada saat yang bersamaan, suhu udara akan naik karena adanya panas adsorpsi yang dilepaskan. Proses pengeringan adsorpsi ini terbukti dapat mengurangi konsumsi energi sekitar 16-20% (Djaeni, 2008). Proses pengeringan adsorpsi ini juga merupakan solusi atas kebutuhan proses pengeringan pada suhu rendah, khususnya untuk bahan-bahan yang mudah rusak pada suhu tinggi.

Berbagai bahan-bahan berpori dapat digunakan sebagai adsorben. Contoh adsorben yang secara komersial telah dipakai diantaranya adalah silika gel dan zeolit. Di antara ketiga zat tersebut, zeolit merupakan material yang memiliki bentuk kristal sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah dan menjadikan luas permukaan zeolit sangat besar sehingga sangat baik digunakan sebagai adsorben (Suardana, 2008). Zeolit, baik sintetis maupun alami, dapat menyerap dalam jumlah yang cukup besar meskipun pada konsentrasi rendah. Khusus untuk pengering adsorpsi, zeolit juga mempunyai afinitas yang tinggi terhadap uap air (Igbokwe dkk., 2008) serta menyerap air dengan melepas panas laten penjerapan yang cukup tinggi (Ulku dan Cakicioglu, 1991).

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang terdiri dari ikatan SiO_4 dan 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. Kation yang mudah dipertukarkan yang ada pada kerangka zeolit ini 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 (Ackley dkk., 2003; Gruszkiewicz dkk., 2005).

Zeolit terdapat secara alami di permukaan tanah. Saat ini banyak jenis zeolit alam yang telah ditemukan dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan

strukturnya. Meskipun zeolit sintetis juga telah banyak diproduksi, namun zeolit alam tetap mempunyai peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, khususnya di Indonesia (Senda dkk., 2006).

Berbeda dengan zeolit sintetis yang strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya, zeolit alam mempunyai struktur yang tidak selalu sama, tergantung pada kondisi pembentukannya di alam. Oleh karena itu, pada penggunaan zeolit alam sebagai adsorben dibutuhkan proses aktivasi. Proses aktivasi ini diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit 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.

Secara umum, ada tiga proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolit alam, yaitu aktivasi secara fisis dengan pemanasan, aktivasi secara kimia dengan asam dan aktivasi secara kimia dengan basa. Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400°C selama beberapa jam. Sementara aktivasi dengan basa dapat dilakukan dengan larutan NaOH, dimana penurunan rasio Si/Al akan terjadi pada aktivasi dengan pH tinggi (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Aktivasi zeolit alam Turki dengan menggunakan larutan HCl pada berbagai konsentrasi dan suhu memberikan hasil bahwa aktivasi dengan HCl menyebabkan terjadinya proses dealuminasi zeolit (Ozkan dan Ulku, 2005). Dari proses aktivasi zeolit baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolit yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Perlakuan dengan asam terhadap zeolit juga terbukti akan menyebabkan zeolit menjadi lebih hidrofob sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Sumin dkk., 2009). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka daya adsorpsi zeolit terhadap uap air menjadi semakin kecil (Ozkan dan Ulku, 2005).

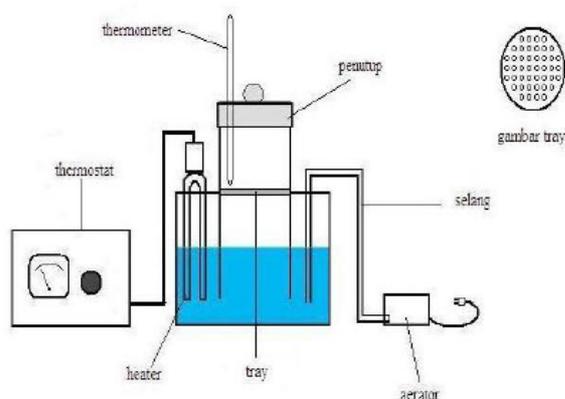
Pada alat pengering adsorpsi dengan adsorben zeolit alam, proses aktivasi diarahkan terutama agar zeolit mempunyai kemampuan menyerap uap air yang tinggi. Pilihan proses aktivasi zeolit alam yang dapat dilakukan adalah aktivasi secara fisis dengan pemanasan atau aktivasi secara kimia dengan basa. Selain itu juga diperlukan adanya uji daya adsorpsi zeolit alam teraktivasi terhadap uap air pada berbagai suhu atau kelembaban relatif udara. Analisa daya adsorpsi ini dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik zeolit alam teraktivasi pada berbagai kondisi udara. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu penelitian tentang proses aktivasi zeolit alam sebagai adsorben pada alat pengering adsorpsi serta uji karakteristiknya pada berbagai kondisi udara. Penelitian ini sendiri bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu pemanasan serta suhu dan konsentrasi NaOH pada daya adsorpsi zeolit terhadap air.

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian adalah zeolit alam Klaten yang diperoleh dari supplier UD. Indrasari Semarang. Fraksi zeolit alam yang digunakan adalah zeolit dengan ukuran 2,00-2,36 mm. Pada aktivasi dengan panas tidak dibutuhkan bahan tambahan lain, sedangkan pada aktivasi dengan basa digunakan NaOH (Merck) serta aquadest.

Pada proses aktivasi dengan panas, zeolit sebanyak 25 g dipanaskan di dalam furnace pada suhu 200°C selama 2 jam. Setelah itu zeolit didinginkan dalam desikator, dan selanjutnya diuji kemampuan adsorpsinya terhadap uap air dengan menggunakan alat tangki sorption isotherm (Gambar 1). Percobaan diulang untuk suhu 300-500°C dan waktu pemanasan 3-5 jam.

Pada proses aktivasi dengan NaOH, zeolit sebanyak 25 g dicampur dengan NaOH 0,5N dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 60°C, dan selanjutnya dikeringkan dalam oven 110°C selama 4 jam. Zeolit kemudian didinginkan dalam desikator, dan selanjutnya diuji kemampuan adsorpsinya terhadap uap air dengan menggunakan alat tangki *sorption isotherm*. Percobaan diulang untuk konsentrasi NaOH 1-2N dan suhu pemanasan 70-90°C.



Gambar 1. Skema alat *sorption isotherm*

Untuk mengetahui karakteristik adsorpsi zeolit alam teraktivasi pada berbagai kondisi udara, maka dilakukan uji daya adsorpsi pada berbagai kelembaban relatif dan berbagai suhu. Uji pada berbagai suhu dilakukan pada range suhu 30-80°C dengan interval 10°C. Sampel zeolit seberat 20 g dimasukkan ke dalam alat uji adsorpsi yang berisi air dan dipertahankan pada suhu tertentu sesuai variabel. Zeolit dikontakkan dengan uap air sampai diperoleh berat konstan. Berat ini menunjukkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air telah maksimal. Penambahan berat yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk pembuatan kurva kesetimbangan sistem zeolit-uap air.

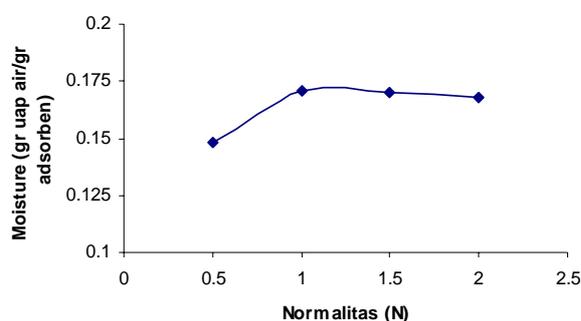
Uji yang kedua dilakukan pada berbagai kelembaban relatif. Sampel zeolit sebanyak 20 g dimasukkan pada alat uji adsorpsi kosong yang dipertahankan pada suhu tertentu, namun suhu udara

masuk divariasikan untuk mendapatkan kelembaban relatif yang berbeda. Zeolit dikontakkan dengan udara tersebut sampai diperoleh berat konstan.

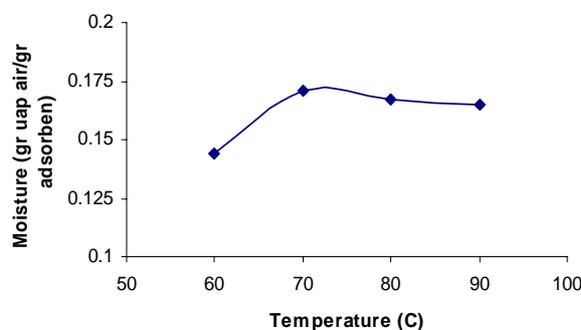
HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivasi Zeolit Alam

Proses aktivasi zeolit alam dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu perlakuan dengan basa (NaOH) serta perlakuan dengan panas/fisis. Gambar 2 dan 3 menunjukkan kemampuan adsorpsi uap air dari zeolit yang diaktivasi dengan NaOH. Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui kondisi aktivasi terbaik dengan NaOH adalah pada konsentrasi NaOH 1 N dan suhu 70°C dengan kemampuan adsorpsi sebesar 0,171 g uap air/gr adsorben.



Gambar 2. Pengaruh normalitas terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi dengan NaOH



Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi dengan NaOH

Pada percobaan ini, proses aktivasi zeolit alam bertujuan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit alam terhadap uap air. Untuk zeolit alam yang tidak diaktivasi, kemampuan adsorpsinya sebesar 0,077 g uap air/g adsorben. Aktivasi dengan basa, dalam hal ini adalah NaOH, terbukti dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air. Pada proses aktivasi dengan NaOH, akan terjadi proses pelarutan silika yang merupakan salah satu komponen dalam kerangka zeolit (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Pelarutan silika akan menyebabkan perubahan struktur zeolit serta berkurangnya silika dalam kerangka zeolit sehingga rasio Si/Al menurun. Penurunan rasio ini akan meningkatkan kapasitas

adsorpsi dan selektivitas zeolit terhadap molekul-molekul polar seperti uap air (Bonenfant dkk., 2008).

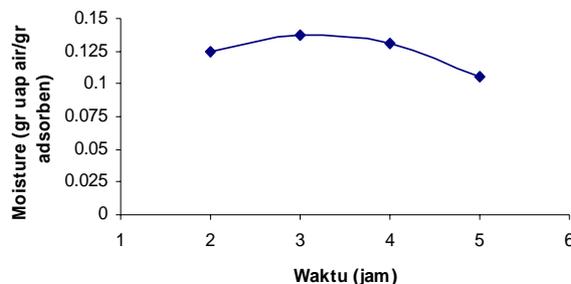
Polaritas molekul yang teradsorpsi oleh zeolit juga mempunyai peranan yang cukup penting yang mempengaruhi interaksinya dengan bidang listrik zeolit. Untuk molekul-molekul polar seperti uap air, maka gaya yang bekerja adalah gaya elektrostatis. Molekul yang polar seperti air akan berinteraksi secara kuat dengan bidang listrik zeolit, sehingga proses adsorpsi uap air oleh zeolit akan lebih mudah terjadi. Pada rasio Si/Al rendah maka pori-pori zeolit mempunyai bidang listrik yang lebih tinggi yang disebabkan oleh meningkatnya "charge site" pada permukaan zeolit. Peningkatan bidang listrik pada permukaan zeolit ini terutama disebabkan oleh meningkatnya jumlah kation yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cation*).

Selain penurunan Si/Al rasio, aktivasi dengan NaOH juga bertujuan untuk menghilangkan ion-ion tertentu dari kerangka zeolit dan menggantinya dengan ion Na^+ sehingga zeolit alam mempunyai kondisi yang semakin mendekati bentuk homoiionik (Inglezakis dkk., 2001). Dengan bentuk homoiionik, molekul zeolit akan mempunyai ukuran pori yang relatif sama, sehingga diharapkan kemampuan dan selektivitas adsorpsinya terhadap uap air juga akan lebih baik.

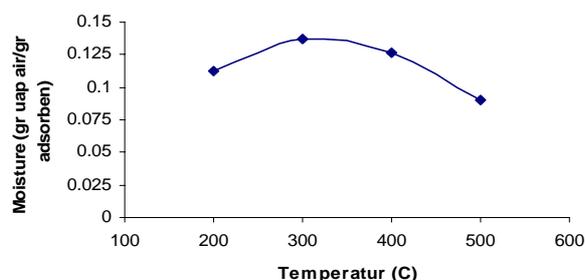
Ukuran pori juga merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kapasitas dan laju adsorpsi zeolit terhadap adsorbat tertentu (Bonenfant dkk., 2008). Zeolit merupakan mineral yang mempunyai 2 jenis pori, yaitu mikropori (ukuran sampai 2 nm) dan makropori (ukuran >50nm) (Ozkan dan Ulku, 2008). Makropori merupakan jalan masuk partikel menuju mikropori, dan pada bagian mikropori inilah sebagian besar peristiwa adsorpsi terjadi. Proses aktivasi secara umum diharapkan dapat meningkatkan jumlah mikropori karena pada proses aktivasi sebagian besar mikropori akan terbentuk. Pembentukan mikropori selama proses aktivasi kemungkinan disebabkan oleh penghilangan kotoran di permukaan serta adanya perubahan kerangka zeolit yang terjadi. Dengan peningkatan jumlah dan volume mikropori inilah maka kemampuan adsorpsi zeolit alam teraktivasi terhadap air menjadi lebih tinggi.

Kondisi operasi aktivasi dengan NaOH terbaik diperoleh pada 1N dan 70°C. Pada kondisi ini, penurunan rasio Si/Al serta kemampuan tukar kation pada zeolit alam kemungkinan telah maksimal, sehingga pada kondisi diatas itu sudah tidak lagi memberikan perubahan daya adsorpsi yang signifikan. Sedangkan pada kondisi dibawah ini, pelarutan Si^{4+} serta masuknya ion Na^+ masih bisa terjadi, sehingga daya adsorpsi masih bisa bertambah. Secara umum, aktivasi zeolit alam dengan NaOH dapat dilakukan pada konsentrasi antara 1-2N. Sementara pada konsentrasi diatas itu, tidak diperoleh peningkatan yang signifikan karena modifikasi komposisi zeolit dapat dilakukan setelah proses pembentukannya, akan tetapi dengan keterbatasan tertentu.

Metode aktivasi zeolit alam yang kedua adalah dengan pemanasan (metode fisis). Gambar 4 dan 5 menunjukkan kemampuan adsorpsi uap air dari zeolit yang diaktivasi dengan panas. Kondisi aktivasi terbaik diperoleh pada pemanasan 300°C selama 3 jam dengan kemampuan adsorpsi sebesar 0,137 g uap air/gr adsorben.



Gambar 4. Pengaruh waktu pemanasan terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi fisis



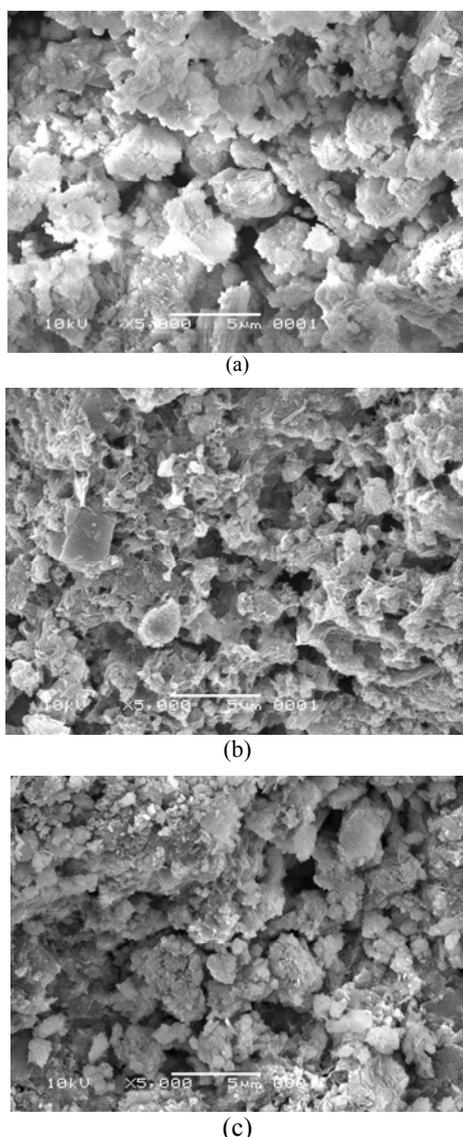
Gambar 5. Pengaruh suhu terhadap daya adsorpsi zeolit pada proses aktivasi fisis

Proses aktivasi secara fisis bertujuan untuk menghilangkan molekul-molekul air serta zat-zat organik pengotor yang ada pada pori dan kerangka zeolit. Perlakuan termal ini dapat pula menyebabkan perpindahan kation, yang akan mempengaruhi letak kation serta ukuran pori dan pada akhirnya akan mempengaruhi kesetimbangan serta kinetika adsorpsi (Ackley dkk., 2003).

Pada percobaan ini dihasilkan suhu aktivasi terbaik adalah 300°C. Pada suhu dibawah ini maka belum semua air dan bahan-bahan organik pengotor teruapkan. Namun bila suhu lebih dari 300°C maka dimungkinkan terjadi kerusakan pada kerangka zeolit yang menyebabkan kemampuan adsorpsinya terhadap uap air menurun. Kecenderungan hasil perlakuan dengan panas terhadap zeolit alam Indonesia ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada zeolit alam Turki dimana kemampuan adsorpsi zeolit alam Turki mula-mula meningkat seiring dengan peningkatan suhu aktivasi, akan tetapi setelah suhu diatas 400°C kemampuan adsorpsi zeolit turun (Ozkan dan Ulku, 2005). Zeolit alam juga umumnya mempunyai rasio Si/Al yang rendah sampai sedang (1-10). Stabilitas atau ketahanan zeolit ini terhadap panas relatif rendah, berkisar pada suhu 300-700°C tergantung pada

struktur masing-masing zeolit (Ackley dkk., 2003; Payra dan Duta, 2003).

Hasil analisa SEM untuk zeolit alam sebelum dan sesudah mengalami perlakuan dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan analisa komposisinya dengan EDX dapat dilihat pada Tabel 1. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa setelah mengalami perlakuan atau aktivasi terjadi perubahan pada morfologi zeolit, dan dimungkinkan terjadi pula perubahan struktur zeolit. Ukuran kristal zeolit setelah aktivasi menjadi lebih kecil dari sekitar 3,9 μm menjadi sekitar 2,2-2,7 μm , sehingga diharapkan terjadi peningkatan volume pori. Hal ini merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan peningkatan kemampuan adsorpsi zeolit setelah mengalami aktivasi. Namun pada aktivasi dengan panas (fisis) ukuran kristal zeolit relatif kurang seragam bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan NaOH, sehingga menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit ini lebih rendah.



Gambar 6. Analisa SEM pada (a) Zeolit alam tanpa aktivasi (b) Zeolit alam dengan aktivasi NaOH (c) Zeolit alam dengan aktivasi fisis/panas

Tabel 1. Komposisi zeolit alam tanpa aktivasi dan dengan aktivasi

Komponen	Tanpa aktivasi (%)	Aktivasi NaOH(%) ^a	Aktivasi fisis(%) ^b
C	6,17	5,75	5,08
Na ₂ O	0,75	4,10	0,56
Al ₂ O ₃	9,68	10,55	10,63
SiO ₂	74,88	61,95	75,08
K ₂ O	4,98	7,11	6,76
CaO	3,55	10,53	1,88

Keterangan:

^a = Zeolit aktivasi NaOH adalah zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH 1N pada suhu 70^oC

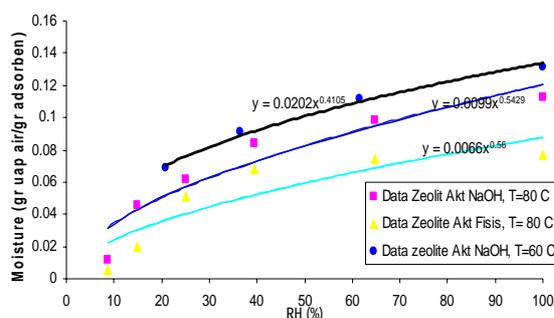
^b = Zeolit aktivasi fisis adalah zeolit alam yang diaktivasi dengan panas 300^oC selama 3 jam.

Analisa komposisi dilakukan dengan menggunakan alat EDX.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa setelah proses aktivasi terjadi penurunan rasio SiO₂/Al₂O₃ zeolit. Rasio mula-mula 7,74 dan turun menjadi 5,87 pada proses aktivasi dengan NaOH serta 7,06 pada proses aktivasi dengan panas. Semakin rendah rasio Si/Al, maka zeolit menjadi lebih hidrofilik. Hal ini menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air lebih besar. Dari tabel tersebut juga terlihat bahwa zeolit alam, baik sebelum maupun sesudah aktivasi masih mengandung zat-zat organik (adanya atom C), yang tentu saja akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air. Namun hasil analisa komposisi dengan EDX ini umumnya masih memberikan persentase kesalahan yang cukup tinggi, sehingga untuk memberikan analisa komposisi yang lebih akurat disarankan untuk menggunakan alat *atomic absorption spectrophotometer* (AAS)

Kesetimbangan Adsorpsi pada Berbagai Suhu dan Berbagai Kelembaban Relatif

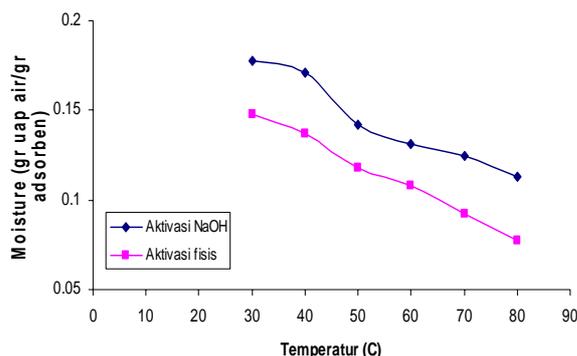
Gambar 7 menunjukkan kurva kesetimbangan adsorpsi pada zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH dan aktivasi dengan panas pada berbagai nilai kelembaban relatif (RH). Meskipun umumnya kesetimbangan adsorpsi zeolit dinyatakan dalam tekanan relatif/parsial, namun nilainya sebanding dengan kelembaban relatif.



Gambar 7. Kurva kesetimbangan adsorpsi pada kelembaban relatif yang berbeda

Dari Gambar 7 terlihat bahwa semakin besar nilai RH maka kemampuan adsorpsi zeolit semakin besar pula. Kecenderungan ini berlaku pada berbagai jenis zeolit, baik zeolit alam maupun sintesis (Pires dan Carvalho, 1997; Kim dkk., 2005; Ozkan dan Ulku, 2008). Kurva kesetimbangan adsorpsi uap air dan zeolit menurut klasifikasi BET termasuk dalam tipe I, dengan slope terbesar mendekati RH = 0 dan semakin datar pada RH tinggi. Kondisi ini mengindikasikan permukaan yang hidrofilik serta mikroporositas. Slope yang besar pada awal kurva menunjukkan tingginya afinitas air dengan zeolit. Afinitas yang tinggi menyebabkan kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air juga tinggi. Nilai afinitas ini salah satunya dipengaruhi oleh rasio Si/Al, dimana nilai afinitas uap air dan zeolit berbanding terbalik dengan rasio Si/Al pada framework zeolit (Pires dan Carvalho, 1997). Oleh karena proses aktivasi dengan NaOH memberikan rasio Si/Al yang lebih rendah dibanding aktivasi fisis, maka aktivasi dengan NaOH akan memberikan kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi pada RH yang sama. Peningkatan tekanan parsial juga dapat menyebabkan penetrasi uap air lebih jauh ke dalam sambungan kecil zeolit sehingga menyebabkan interaksi antara uap air dengan zeolit menjadi lebih kuat.

Gambar 8 merupakan kurva kesetimbangan adsorpsi zeolit alam pada berbagai suhu. Dari Gambar 8 terlihat bahwa kemampuan adsorpsi zeolit terhadap uap air menurun dengan kenaikan suhu. Dengan kenaikan suhu akan terjadi peningkatan mobilitas molekul teradsorpsi dalam lubang zeolit (Bonenfant dkk., 2008). Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan interaksi antara adsorben dengan adsorbat sehingga dapat mempengaruhi harga kesetimbangan adsorpsi.



Gambar 8. Kurva kesetimbangan adsorpsi pada suhu yang berbeda

Model persamaan adsorpsi yang diperoleh disajikan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai konstanta Freunlich dan Langmuir untuk zeolit yang diaktivasi dengan NaOH lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi secara fisis. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi zeolit alam yang diaktivasi dengan NaOH lebih baik daripada yang diaktivasi secara fisis.

Adapun model yang paling mendekati hasil percobaan untuk kedua metode aktivasi adalah model Freunlich.

Tabel 2. Persamaan Model Adsorpsi

Metode Aktivasi	Model Adsorpsi	Persamaan	SSE
NaOH	Freunlich	$y = 0,0098x^{0,54}$	0,00061
	Langmuir	$y = \frac{0,0016x}{1 + 0,0016x}$	0,0022
Fisis	Freunlich	$y = 0,0066x^{0,56}$	0,0009
	Langmuir	$y = \frac{0,0011x}{1 + 0,0011x}$	0,0018

Keterangan :

y = jumlah moisture

x = kelembaban relatif

$$SSE = \text{sum of square error} = \sum (x_{\text{perc}} - x_{\text{perhit}})^2$$

KESIMPULAN

Metode aktivasi zeolit alam sebagai adsorben uap air dapat dilakukan dengan menggunakan basa yaitu NaOH dan dengan menggunakan panas. Aktivasi dengan NaOH 1N suhu 70°C memberikan kemampuan adsorpsi sebesar 0,171 g uap air/gr adsorben, sedangkan daya adsorpsi pada aktivasi fisis/pemanasan 300°C selama 3 jam sebesar 0,137 g uap air/gr adsorben. Proses aktivasi akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi uap air oleh zeolit, dimana faktor yang berpengaruh pada aktivasi dengan NaOH adalah konsentrasi dan suhu, sedangkan pada aktivasi dengan panas faktor yang berpengaruh adalah suhu dan waktu pemanasan. Kurva kesetimbangan adsorpsi pada berbagai kelembaban relatif (RH) menunjukkan bahwa daya adsorpsi berbanding lurus dengan nilai RH, akan tetapi berbanding terbalik dengan suhu.

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.
- Bonenfant, D., Kharoune, M., Niquette, P., Mimeault, M., and Hausler, R., (2008), Advances in Principal Factors Influencing Carbon Dioxide Adsorption on Zeolite, *Sci. Technol. Adv. Mater*, 9.
- Djaeni, M., (2008), Energy Efficient Multistage Zeolite Drying for Heat Sensitive Products, *PhD Thesis*, Wageningen University, The Netherlands.
- Gruskiewics, 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.
- Igbokwe, P.K., Okolomike, R.O., and Nwokolo, S.O., (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(1), pp. 109-112.
- Inglezakis, V.J., Papadeas, C.D., Loizidou, M.D., and Grigoropoulou, H.P., (2001), Effects of Pretreatment on Physical and Ion Exchange Properties of Natural Clinoptilolite, *Environmental Technology*, 22, pp. 75-82.
- Jozefaciuk, G. and Bowanko, G., (2002), Effect of Acid and Alkali Treatments on Surface Areas and Adsorption Energies of Selected Minerals, *Journal Clays and Clay Minerals*, 50(6), pp. 771-783.
- Kim, M.B., Ryu, Y.K., and Lee, C.H., (2005), Adsorption Equilibria of Water Vapor on Activated Carbon and DAY Zeolite, *J.Chem Eng Data*, 50, pp. 951-955
- Ozkan, F.C. and Ulku, S., (2005), The Effect of HCl Treatment on Water Vapor Adsorption Characteristics of Clinoptilolite Rich Natural Zeolite, *Journal Microporous and Mesoporous Materials*, 77, pp. 47-53.
- 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.
- Payra, P. and Dutta, P.K., (2003), *Zeolites : A Primer, Handbook of Zeolite Science and Technology*, Marcel Dekker, Inc.
- Pires, J. and Carvalho, M.B., (1997), Water Adsorption in Aluminium Pillared Clays and Zeolites, *J. Mater.Chem*, 7(9), pp. 1901-1904
- Rosita, N., Erawati, T., and Moegihardjo, M., (2004), Pengaruh Perbedaan Metode Aktivasi Terhadap Efektivitas Zeolit sebagai Adsorben, *Majalah Farmasi Airlangga*, 4(1).
- Senda, S.P., Saputra, H., Sholeh, A., Rosjidi, M., and Mustafa, A., (2006), Prospek Aplikasi Produk Berbasis Zeolit untuk Slow Release Substances (SRS) dan Membran, *Artikel Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia*, ISSN 1410-9891.
- Suardana, I.N., (2008), Optimalisasi Daya Adsorpsi Zeolit Terhadap Ion Kromium(III), *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Sains & Humaniora*, Lembaga Penelitian Undiksha, 2(1), pp. 17-33.
- 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.
- Ulku, S. and Cakicioglu, F., (1991), Energy Recovery in Drying Application, *Renewable Energy*, 1(5/6), pp. 695-698.