

# Pengaruh Penambahan Amonium Klorida dan Asam Fluorida pada Zeolit Alam Lampung Terhadap Kemampuan Penyerapan Kandungan Uap Air Dalam Udara

Bambang Suryawan, M. Idrus Alhamid dan Johny Wijaya  
Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus Baru U.I. Depok 16424

## Abstrak

Zeolit adalah salah satu material yang memiliki property seperti LiCl dan silica gel dalam kemampuannya menyerap kandungan air dari udara. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh zeolit alam Lampung yang diaktivasi dengan dealuminasi 3% HF dan  $NH_4Cl$  serta kalsinasi pada  $120^\circ C$ . Untuk menunjukkan kurva karakteristik Equilibrium Moisture Content (EMC), temperatur kamar dijaga pada  $25^\circ C$  dengan laju aliran udara 1.2 m/s. Dengan variasi Relative Humidity (RH) aliran udara, hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan zeolit alam Lampung referensi yang diaktivasi hanya dengan pencucian dan pemanasan pada temperatur  $180^\circ C$  tanpa dealuminasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dealuminasi HF tidak memberikan pengaruh yang bermakna dalam kemampuan adsorpsi zeolit ini. Hal ini dapat terlihat pada nilai EMC yang terendah zeolit ini bila dibandingkan dengan zeolit referensi sampai 0,0124 g uap air/g zeolit kering pada RH 56,9 %. Selanjutnya, laju adsorpsi zeolit dengan dealuminasi ternyata lebih rendah daripada zeolit referensi untuk setiap RH dengan perbedaan nilai sampai 4,75 jam pada RH 47,5 %. Sehingga dapat disimpulkan secara umum, bahwa proses perlakuan panas terhadap zeolit sampai temperatur  $180^\circ C$  akan meningkatkan kapasitas adsorpsinya bila dibandingkan dengan zeolit dengan dealuminasi HF dan kalsinasi pada temperatur  $120^\circ C$ .

## Abstract

Zeolite is one of the material which have properties similar with LiCl and silica gel in the ability to adsorb moisture content of air from air. This research is accentuated to find the influence of natural zeolite from Lampung which is activated by HF 3% and  $NH_4Cl$  dealumination and calcination at  $120^\circ C$ . In order to show the characteristic curve of Equilibrium Moisture Content (EMC), the room temperature is adjusted at  $25^\circ C$  with an air flow rate of 1,2 m/s. By the variation of Relative Humidity (RH) of the air flow, the result of this research then compared to the natural Lampung zeolite reference with the heat treatment process at  $180^\circ C$  without dealumination. The result of this research shown that the HF dealumination was not influenced significantly in the adsorption ability of the zeolite. It could be seen from the lowest value of EMC of this zeolite compared to the reference zeolite until 0,0124 g moisture/g dry zeolit at RH 56,9 %. Furthermore, adsorption rate of zeolite with the dealumination is lower than the reference zeolite for each RH with differences until 4,75 hours at RH 47,5 %. It could be concluded generally, that the heat treatment process of the zeolite until the temperature of  $180^\circ C$  will increase the adsorption capacity comparing to that of HF dealumination and calcination at the temperature of  $120^\circ C$ .

**Key-words :** Amonium klorida, Asam Fluorida, Zeolit

## 1. Pendahuluan

Zeolit merupakan zat yang memiliki sifat sejenis dengan LiCl dan silica gel dalam hal kemampuannya menyerap kandungan uap air dari udara yang hendak dikondisikan. Sudah sejak lama zeolit digunakan untuk proses katalisis reaksi-reaksi kimia dalam dunia industri, termasuk

juga penelitian zeolit sebagai adsorbent. Mengingat zeolit mudah didapat dan mempunyai harga jual yang relatif terjangkau, maka zeolit memungkinkan untuk bisa dijadikan satu alternatif pengganti LiCl dan silica gel, khususnya untuk aplikasi dehumidifikasi dalam dunia industri.

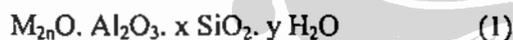
Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dealuminasi ( $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan  $\text{HF}$  3 %) serta kalsinasi pada  $120^\circ\text{C}$  terhadap kapasitas adsorpsi zeolit alam Lampung dengan jenis *klinotilolit* dengan membandingkannya dengan zeolit alam Lampung dengan kalsinasi hingga  $180^\circ\text{C}$ .

Penelitian ini dititikberatkan pada pencarian kurva karakteristik zeolit ini pada temperatur kamar ( $25^\circ\text{C}$ ) dengan laju aliran fluida 1,2 m/s

## 2. Zeolit dan Sifat – sifatnya

Istilah zeolit berasal dari kata *zein* (bahasa Yunani) yang berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Nama ini sesuai dengan sifat zeolit yang akan membuih bila dipanaskan pada  $100^\circ\text{C}$ . Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali dan alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Ion-ion logam tersebut dapat dipertukarkan oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat memiliki kemampuan menyerap air secara reversibel [1].

Kerangka dasar zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan di dalam struktur tersebut  $\text{Si}^{4+}$  dapat diganti dengan  $\text{Al}^{3+}$ . Sehingga rumus empiris zeolit menjadi [1]



Ciri khas dari zeolit adalah strukturnya yang berbentuk rongga-rongga teratur dengan ukuran pori tertentu yang biasanya rongga ini diisi oleh air atau kation yang bisa dipertukarkan. Karena sifatnya yang demikian, maka zeolit banyak dimanfaatkan untuk aplikasi penyaringan molekular, katalisator, penyerap bahan dan penukar ion. Ada beberapa sifat zeolit yang menjadi ciri khas dari bahan ini, diantaranya adalah sebagai berikut [1] :

### 1. Dehidrasi

Apabila zeolit dipanaskan, maka zat ini akan melepaskan molekul air dalam rongga-rongga di permukaannya dimana

jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang akan terbentuk. Lepasnya molekul air dari rongga permukaan zeolit ini akan mengakibatkan meluasnya medan listrik ke rongga utama, dimana hal ini akan efektif berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi.

### 2. Adsorpsi

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, apabila kristal zeolit dipanaskan hingga suhu  $300^\circ\text{C}$  -  $400^\circ\text{C}$  maka air yang memenuhi rongga-rongga zeolit akan keluar dari kristal zeolit sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Dalam aplikasinya, beberapa jenis mineral zeolit mampu menyerap gas hingga 30 % beratnya dalam keadaan kering.

### 3. Penukar ion

Ion-ion pada rongga atau permukaan zeolit berfungsi untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini dapat bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenisnya. Sifat sebagai penukar ion dari zeolit antara lain tergantung dari sifat kation dan jenis anionnya. Pertukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalitis.

### 4. Katalis

Ciri khas yang dimiliki oleh zat ini adalah adanya ruang bebas yang membentuk saluran dalam strukturnya. Saluran inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai sarana difusi molekul dalam ruang bebas diantara kristal dalam proses penyerapan atau katalisis. Karena memiliki pori-pori yang besar dengan permukaan yang maksimal, zeolit dapat menjadi katalisator yang baik

### 5. Penyaring atau pemisah

Salah satu keunggulan zeolit dibandingkan kebanyakan media penyerap atau pemisah (seperti *silica gel*) adalah strukturnya yang membentuk media berpori dengan distribusi diameter yang sangat selektif, sehingga dengan strukturnya ini, zeolit mampu

memisahkan zat berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk dan polaritas dari molekul yang disaring.

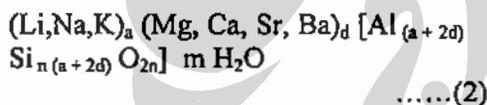
Banyak sekali jenis zeolit yang ditemukan hingga saat ini. Untuk memudahkan dalam pencariannya, para ahli dalam bidang ini telah menggolongkan zeolit-zeolit tersebut dalam sebelas kelompok besar.

Pengelompokan ini didasarkan atas adanya perbedaan :

1. Struktur Bangunan tiap zeolit
2. Jumlah unit dalam bangunan sekunder
3. Dimensi sistem saluran
4. Jumlah tetrahedral sistem saluran
5. Arah sistem saluran [2]

Zeolit yang digunakan oleh penulis dalam penelitiannya adalah zeolit alam Lampung, yang merupakan zeolit dengan jenis klinoptilolit. Zeolit ini adalah anggota dalam kelompok Heulandit, yang biasa disingkat sebagai HEU dalam kode IUPAC [3].

Klinoptilolit memiliki rumus umum :



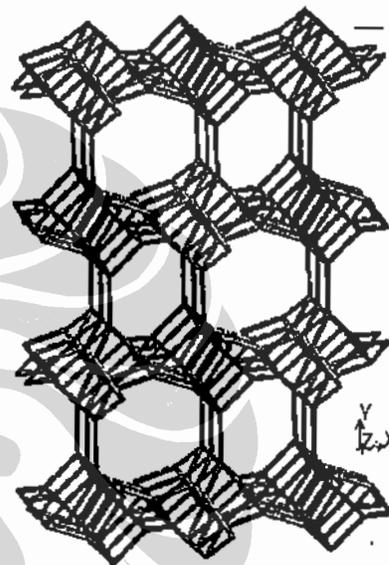
Unit selnya berbentuk monoklinik C terpusat dan biasanya dikarakterkan berdasarkan pada 72 atom O ( $n = 36$ ) dan molekul air ( $m = 24$ ), dengan kation  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ , dan  $\text{Mg}^{2+}$ , sehingga dengan demikian parameter satuan sel dinyatakan dengan :



Sebagai adsorben zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap kandungan zat tertentu dari suatu sistem. Sebelum digunakan, untuk mengoptimalkan kinerja zeolit maka perlu diadakan aktivasi terhadapnya. Ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam aktivasi zeolit ini, diantaranya[4] :

### 1. Kalsinasi

Kalsinasi atau pemanasan ditujukan untuk mengeluarkan air yang terperangkap dalam rongga atau saluran , sehingga larutan kation, gas ataupun molekul-molekul yang memiliki ukuran yang lebih kecil dari diameter saluran dapat masuk. Aktivasi terbaik apabila pemanasan dilakukan pada suhu  $150^\circ\text{C}$  sampai  $300^\circ\text{C}$  dengan waktu 2 sampai 4 jam. Apabila aktivasi dilakukan pada suhu tinggi maka ada kemungkinan terjadi kerusakan pada zeolit



Gambar 1. Bangun ruang dari Zeolit jenis Klinoptilolit [5]

### 2. Dealuminasi

Dealuminasi atau pengasaman ditujukan untuk mengurangi efek hambatan dari pertukaran ion dengan cara pencucian kation  $\text{Al}^{3+}$  dalam kerangka zeolit dan posisinya akan diganti oleh  $\text{H}^+$ . Pemberian suatu larutan asam mineral pada mineral zeolit yang kaya silika seperti klinoptilolit akan menyebabkan :

- a. Al pada kisi kristal akan lepas dan membentuk hidrogen zeolit
- b. Membuka saluran ataupun rongga dari zeolit melalui penghilangan pengaruh penutupan silika pada saluran zeolit yang terjadi selama proses pembentukannya.

Proses dealuminasi yang terjadi pada penambahan HF dapat terjadi karena adanya penyisipan anion F<sup>-</sup> ke dalam sisi Asam bronsted sehingga menjadi sisi asam Lewis. Proses ini akan mengurangi alumina non rangka yang bersifat pengotor dan menaikkan jumlah asam lewis. Salah satu akibat dari proses dealuminasi ini adalah naiknya rasio Si/Al.

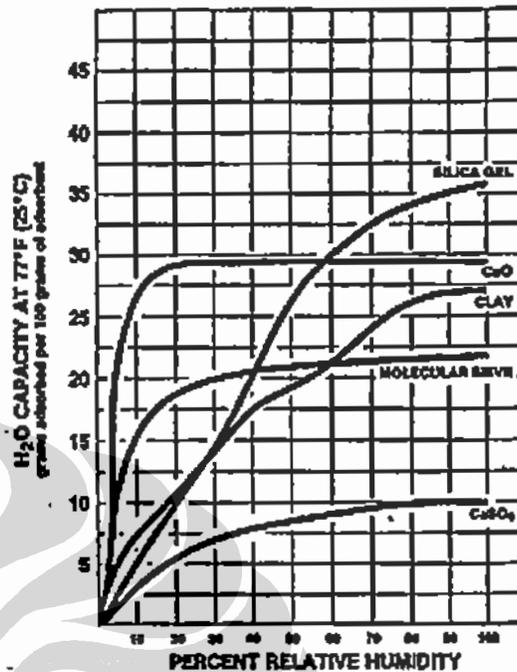
Luas permukaan lebih besar jika ditambah HF, karena adanya sebagian alumina yang terlarut dalam HF, terutama alumina yang tidak terikat pada rangka. Alumina tersebut sebelumnya menutupi permukaan efektif dari zeolit sehingga dengan larutnya ke dalam HF, dapat memperbesar permukaan efektif zeolit. Pretreatment dengan HF juga mengakibatkan larutnya pengotor-pengotor non rangka lainnya sehingga pori-pori zeolit yang semula tertutup menjadi terbuka.

### 3. Equilibrium Moisture Content (EMC)

Kadar air kesetimbangan atau EMC merupakan kadar air yang dikandung suatu bahan basah pada temperatur dan kelembaban relatif tertentu. Konsep kadar air keseimbangan ini sangat penting karena kadar air keseimbangan akan menentukan kadar air minimum yang akan dicapai pada kondisi tertentu [6].

Apabila kandungan uap air di dalam bahan padat lebih besar dari kandungan uap air udara, maka sejumlah uap air akan keluar dari bahan padat menuju ke udara karena adanya perbedaan tekanan uap antara keduanya. Keadaan ini terus berlangsung hingga terjadi kesetimbangan tekanan uap antara bahan padat dan udara di sekitarnya. Dan sebaliknya, apabila kandungan uap air di dalam bahan padat lebih rendah dari kandungan uap air udara, maka sejumlah uap air akan keluar dari udara menuju ke bahan padat karena adanya perbedaan tekanan uap antara keduanya. Keadaan ini juga terus berlangsung hingga terjadi kesetimbangan tekanan uap antara bahan padat dan udara di sekitarnya. Keadaan kesetimbangan

inilah yang disebut sebagai *Equilibrium Moisture Content* (EMC)



Gambar 2.  
Kurva kesetimbangan kandungan uap air untuk beberapa material [6].

Grafik kadar air keseimbangan terhadap kelembaban relatif pada suatu temperatur tertentu disebut dengan adsorpsi *isoterm*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk kadar air tertentu suatu bahan akan mempunyai kelembaban relatif yang tertentu pula. [6]

Kadar air keseimbangan dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. kadar air keseimbangan statis

Kadar air keseimbangan statis didapat dari sistem dengan bahan dan aliran udara yang lewat berada pada kondisi diam.

2. kadar air kesetimbangan dinamis.

Kadar air keseimbangan dinamis didapat dari sistem dengan bahan dan atau aliran udara yang lewat berada dalam kondisi bergerak.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Preparasi dari zeolit alam Lampung termodifikasi dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF dimaksudkan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari zeolit dengan meningkatkan keasamannya. Mula-mula zeolit alam Lampung sebanyak 4 kg di-dealuminasi dengan larutan HF 3% dan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  kemudian dilakukan kalsinasi hingga  $120^\circ\text{C}$  dengan *vacuum drier*.

Uji adsorpsi ini dilakukan di Laboratorium Termodinamika, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, yaitu dengan memanfaatkan mesin pengering *tray drier* dan *Air conditioner* sebagai sarana pengkondisian zeolit dalam temperatur dan laju udara konstan. Metode penelitiannya disajikan dalam *flow chart* dalam gambar 3 di atas.

Berdasarkan data yang diperoleh pada saat pengambilan data, penulis mengadakan perhitungan terhadap data tersebut untuk mengetahui sejauh mana kemampuan penyerapan kandungan uap air udara oleh zeolite termodifikasi dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF. Dalam pengolahan data ini, juga dilakukan studi banding terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Aria Indratama dalam tugas akhirnya [8] mengenai Equilibrium Moisture Content dari Zeolite yang sama tanpa penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF, yang juga dilakukan pada kondisi penelitian yang sama dengan penelitian ini.

Untuk perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$X_0 = m_{z1} - m_1 \quad (4)$$

$$X_t = X_m - X_0 - m_1 \quad (5)$$

$$X^* = X_t / X_0 \quad (6)$$

##### 4.1. Analisis Data

Mengingat keterbatasan perangkat pengujian yang ada, maka ditetapkan pengujian terhadap kapasitas adsorpsi  $\text{H}_2\text{O}$  dari zeolite termodifikasi (dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF), dibatasi

dalam range kelembaban relatif dari 27,6 % hingga 66,8 % saja.

Dalam analisis ini, data yang diperoleh dari hasil pengujian zeolite termodifikasi dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF akan dibandingkan dengan hasil pengujian dari Aria Indratama dalam tugas akhirnya (2001), sebagaimana dicantumkan dalam referensi [8], dengan kondisi pengujian yang sama untuk zeolite yang telah termodifikasi dengan pencucian dan aktivasi dalam *vacuum drier* pada suhu  $180^\circ\text{C}$ .

##### 4.2. Hubungan Kelembaban Relatif Udara dengan EMC

Secara umum, dari hasil pengujian kapasitas adsorpsi zeolit alam Lampung dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  yang ditunjukkan pada gambar 4, terlihat bahwa EMC dari zeolit tersebut mengalami kenaikan yang cukup signifikan, dengan gradien yang semakin bertambah dari kelembaban relatif (RH) 38,7 % hingga RH 56,9 %. Tidak bisa dipastikan bagaimana kecenderungan data untuk RH dibawah dan diatas kedua nilai RH diatas, namun setidaknya berdasarkan kurva pendekatan pada data yang diperoleh dapat diperkirakan bahwa pada nilai-nilai EMC untuk RH diatas 56,9 % akan mendekati nilai yang konstan dengan gradien yang semakin menurun. Hal ini terlihat dari kecenderungan data dan kurva pendekatannya pada RH ini.

Penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF, berdasarkan gambar 4, ternyata tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kemampuan zeolite dalam hal penyerapan kandungan uap air udara, hal ini terlihat dari lebih rendahnya kandungan uap air kesetimbangan dari zeolite dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF dibandingkan dengan zeolite referensi [8], yaitu zeolite tanpa penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  untuk setiap pengkondisian kelembaban relatif udara yang sama. Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa perbedaan yang terjadi hingga 0,0124 g uap air/g zeolit kering pada RH 56,9 %.

Tabel 1.

Perbedaan Kemampuan Penyerapan air Zeolite Termodifikasi dengan Penambahan NH<sub>4</sub>Cl dan tanpa Penambahan NH<sub>4</sub>Cl

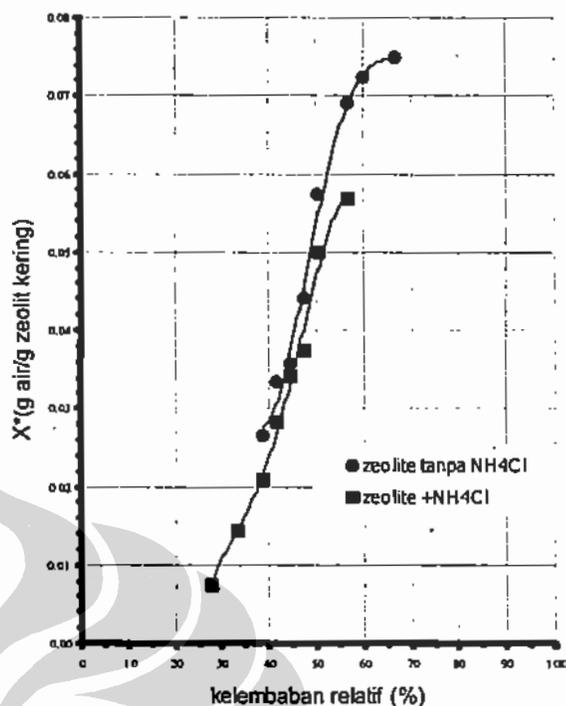
RH (%)	gram uap air tiap gram zeolite $X^*$ $= X_i / X_o$		
	zeolite tanpa NH <sub>4</sub> Cl [8]	zeolite + NH <sub>4</sub> Cl	Perbedaan
27.6	-	0.0075	-
33.1	-	0.0142	-
38.7	0.0266	0.0208	0.0058
41.6	0.0333	0.0283	0.0050
44.5	0.0358	0.0342	0.0016
47.5	0.0441	0.0375	0.0066
50.6	0.0574	0.0500	0.0074
56.9	0.0691	0.0567	0.0124
60.2	0.0724	-	-
66.8	0.0749	-	-

Berdasarkan teori, penambahan HF untuk menaikkan pH zeolit yang ditambah dengan NH<sub>4</sub>Cl sebagai zat yang mempertahankan keasamannya, seharusnya akan mengakibatkan naiknya kemampuan penyerapan zeolit, yang diindikasikan dengan bertambahnya luas permukaan adsorbent, dikarenakan adanya sebagian alumina dan pengotor-pengotor non rangka lainnya yang menutupi permukaan efektif dari zeolit yang terlarut dalam HF.

Ada satu kemungkinan yang dapat menjelaskan hal ini, yaitu, proses kalsinasi atau heat treatment yang dilakukan pada zeolit alam lampung ini saat preparasinya pada temperatur 120°C juga tidak cukup efektif untuk menguapkan seluruh kandungan air dari zeolit, berdasarkan referensi [1,4] proses kalsinasi terbaik apabila dilakukan pada suhu 300 °C hingga 400 °C. Pengaruh temperatur ini terlihat dari grafik zeolit referensi, yang memberikan hasil kapasitas adsorpsi yang lebih baik dengan perbedaan hingga 0,0124 g uap air/g zeolit kering pada RH 56,9 %.

#### 4.3. Perbedaan Waktu Tercapainya Kadar Air Kesetimbangan

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa kecepatan penyerapan efektif pada RH rendah (dibawah RH 41,6 %) yang ditandai dengan penambahan waktu penyerapan



Gambar 4.

Grafik hubungan RH dengan EMC terhadap zeolite tanpa NH<sub>4</sub>Cl [8] dengan zeolite dengan NH<sub>4</sub>Cl dan HF

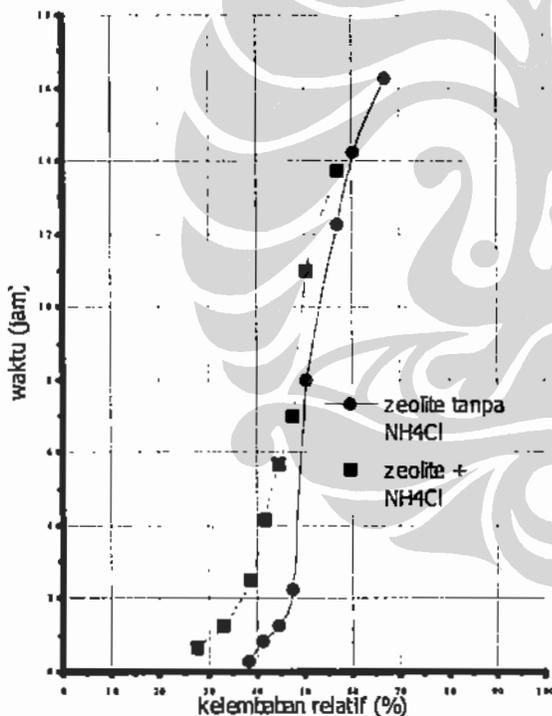
yang relatif konstan dalam setiap kenaikan kelembaban relatifnya

Sebaliknya kecepatan penyerapannya semakin rendah pada RH tinggi, yaitu pada RH diatas 41,6 %, yang ditandai dengan pertambahan waktu penyerapan yang naik secara tajam dalam setiap kenaikan kelembaban relatifnya hingga 13,75 jam pada RH 56,9 %, seperti yang digambarkan dalam gambar 5 dengan kemiringan kurva yang tajam.

Dibandingkan dengan zeolit referensi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, terlihat bahwa kecepatan penyerapan dari Zeolit dengan penambahan NH<sub>4</sub>Cl tidak memberikan hasil yang lebih baik daripada zeolit referensi [8], yang ditandai dengan lebih besarnya nilai waktu kesetimbangan untuk tiap kelembaban relatif yang sama dengan selisih hingga 4,75 jam pada RH 47,5 %.

**Tabel 2.**  
Perbedaan Waktu Tercapainya Kadar Air Kesetimbangan dari Zeolite Termodifikasi dengan Penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan tanpa Penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$

RH (%)	Waktu(menit)		Waktu(jam)		Perbedaan (jam)
	zeolite tanpa $\text{NH}_4\text{Cl}$ [8]	zeolite + $\text{NH}_4\text{Cl}$	zeolite tanpa $\text{NH}_4\text{Cl}$ [8]	zeolite + $\text{NH}_4\text{Cl}$	
27.61	-	40	-	0.67	-
33.05	-	75	-	1.25	-
38.69	15	150	0.25	2.50	2.25
41.59	48	250	0.80	4.17	3.37
44.54	75	340	1.25	5.67	4.42
47.54	135	420	2.25	7.00	4.75
50.60	480	660	8.00	11.0	3.00
56.9	735	825	12.25	13.75	1.50
60.2	855	-	14.25	-	-
66.8	975	-	16.25	-	-



**Gambar 5.**  
Grafik hubungan Kelembaban relatif terhadap waktu kesetimbangan zeolite tanpa  $\text{NH}_4\text{Cl}$  [8] dengan zeolite dengan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut :

1. Nilai-nilai EMC untuk RH diatas 50,6 % dari zeolit alam Lampung termodifikasi dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF berdasarkan kurva pendekatannya, akan mendekati nilai yang konstan dengan gradien yang semakin menurun.
2. Penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF sebanyak 3 %, tidak memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap kemampuan zeolite dalam hal penyerapan kandungan uap air udara dibandingkan dengan zeolite referensi [8] dengan kalsinasi pada  $180^\circ\text{C}$  saja, hal ini terlihat dari lebih rendahnya kandungan uap air kesetimbangan dari zeolite ini dengan perbedaan yang terjadi hingga 0,0124 g uap air/g zeolit kering pada RH 56,9 %.
3. Kecepatan penyerapan zeolit alam Lampung dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan HF efektif pada RH rendah, yaitu dibawah RH 41,6 %, sedangkan pada RH diatasnya kecepatan penyerapannya menjadi rendah.
4. Kecepatan penyerapan dari Zeolit dengan penambahan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  lebih rendah daripada zeolit referensi [8] dengan kalsinasi pada  $180^\circ\text{C}$  saja, untuk tiap kelembaban relatif yang sama dengan selisih hingga 4,75 jam pada RH 47,5 %.

## Nomenklatur

- M kation alkali atau alkali tanah
- N valensi logam alkali
- T temperatur ( $^\circ\text{C}$ , K)
- w perbandingan kelembaban (*humidity ratio*)
- x koefisien bilangan tertentu
- X berat zeolit (kg)
- $X^*$  *equilibrium moisture content* (g  $\text{H}_2\text{O}$ /g zeolit kering)
- y bilangan tertentu

### **Subscript**

- m bilangan tertentu
- n bilangan tertentu
- 0 awal
- t tray
- zt zeolit + tray

### **Daftar Acuan**

1. Sutarti, Mursi. 1998. *Zeolit Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi ilmiah LIPI, Jakarta.
2. Ribeiro, F.R. et al. 1984. *Zeolites : Science and Technology*. Martinus Nijhoff Publisher, The Hague.
3. Tsitsishvili, G.V., et al., 1992, *Natural Zeolites*, Ellis Horwood Limited, London.
4. Suyartono dan Husaini, 1991, *Tinjauan Terhadap Kegiatan Penelitian*

*Karakteristik dan Peman-faatan Zeolit Indonesia yang Dilakukan PPTM Periode 1980-1991*. Buletin Bidang Pengkajian dan Perencanaan Mineral, PPTM, Bandung.

5. \_\_\_\_\_ [www.iza-structure.com](http://www.iza-structure.com)
6. McCabe, W.L. and Smith, J.C. 1976. *Unit Operation of Chemical Engineering, third edition*. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
7. Dobson R.L. 1987. *Journal of Packaging Technology*, Vol. 1, No.4, August 1987, Techni-cal Publications, Inc.
8. Indratama, A., 2001, *Zeolit Alam Lampung Ter-modifikasi Sebagai Adsorben Uap Air*. Skripsi, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok

