

## EFFECT OF GRAIN SIZE AND ACTIVATION TIME OF ZEOLITE TO ADSORPTION AND DESORPTION OF NH<sub>4</sub>OH AND KCL AS MODEL OF FERTILIZER-ZEOLITE MIX

**Muhammad Prasanto Bimantio**

Magister Teknik Sistem Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Teknik Utara No. 3 Berek, Yogyakarta 55281, Indonesia

Email corresponding author: bimantiomp@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 1-07-2017 Received in revised form: 3-07-2017 Accepted: 8-07-2017 Published: 9-10-2017</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Zeolite Fertilizer Adsorption Desorption Mathematical modelling</p>	<p><i>Zeolites can be used as adsorbent, ion exchange, catalyst, or catalyst carrier. Application of fertilizer use in the zeolite also be one of the interesting topic. Zeolites in a mixture of fertilizer can use to control the release of nutrients. The purpose of this research is to study the effect of grain size and time of the activation of zeolite to adsorption and desorption of NH<sub>4</sub>OH and KCl as modeling of ZA and KCl fertilizer, to obtain the value of adsorption rate constant (<math>k_a</math>) and desorption rate constant (<math>k_d</math>). This research procedure include: the process of adsorption by adding zeolite with various size and time of activation into a sealed beaker glass and let the adsorption process occurs for 24 hours. After 24 hours, the solution was filtered, the zeolite then put in 100 ml of aquadest into a sealed beaker glass and let the desorption process happened for another 24 hours. Three samples with the largest difference solution concentrations looked for the value of the <math>k_a</math> and <math>k_d</math>. Zeolite configuration with the largest <math>k_a</math> is trialed with fertilizer and compared with the value of <math>k_a</math> obtained from modeling. The result for NH<sub>4</sub>OH adsorbate, -50+60 mesh 2 hours configuration zeolite give the largest <math>k_a</math>. For KCl adsorbate, -30+40 mesh 4 hours configuration zeolite give the largest <math>k_a</math>. The value between modeling and trials with fertilizers are not much different.</i></p>

### PENGARUH UKURAN BUTIR DAN WAKTU AKTIVASI ZEOLIT TERHADAP ADSORPSI DAN DESORPSI NH<sub>4</sub>OH DAN KCL SEBAGAI MODEL CAMPURAN PUPUK – ZEOLIT

**Abstrak** - Zeolit dapat digunakan sebagai penjerap, penukar ion, katalis, maupun pengemban katalis. Aplikasi penggunaan zeolit dalam pupuk juga menjadi salah satu topik yang menarik. Zeolit dalam campuran pupuk dapat digunakan untuk mengontrol pelepasan unsur hara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh ukuran butir dan waktu aktivasi zeolit terhadap adsorpsi dan desorpsi NH<sub>4</sub>OH dan KCl sebagai pemodelan dari pupuk ZA dan KCl dengan kalkulasi nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_a$ ) dan nilai konstanta laju desorpsi ( $k_d$ ). Tahap – tahap dalam penelitian ini antara lain: melakukan proses adsorpsi dengan menambahkan zeolit dengan variasi ukuran dan waktu aktivasi ke dalam gelas beker tertutup dan biarkan proses adsorpsi terjadi selama 24 jam. Kemudian, larutan disaring dan zeolit tersebut dimasukkan dalam 100 ml aquadest ke dalam gelas beker tertutup dan biarkan proses desorpsi terjadi selama 24 jam. Tiga sampel dengan selisih konsentrasi terbesar kemudian dihitung nilai  $k_a$  dan  $k_d$ . Konfigurasi zeolit dengan nilai  $k_a$  terbesar akan di uji dengan pupuk, untuk dibandingkan dengan nilai  $k_a$  yang didapat dari pemodelan. Dari hasil penelitian diperoleh untuk adsorbat NH<sub>4</sub>OH, konfigurasi zeolit -50+60 mesh dan 2 jam memberikan nilai  $k_a$  terbesar, yaitu  $3,7926 \times 10^{-4}$ . Sedangkan untuk adsorbat KCl, konfigurasi zeolit -30+40 mesh dan 4 jam memberikan nilai  $k_a$  terbesar, yaitu  $6,6609 \times 10^{-4}$ . Hasil antara permodelan dan uji dengan pupuk memberikan nilai  $k_a$  yang tidak berbeda jauh.

**Kata kunci** : zeolit, pupuk, adsorpsi, desorpsi, pemodelan matematis.

## PENDAHULUAN

Mineral zeolit di alam telah banyak ditemukan dalam beberapa jenis di Indonesia, jenis mineral zeolit terbanyak adalah klinoptilolit dan mordenit (Kithome et al., 1998). Zeolit alam terbentuk karena adanya proses perubahan alam dari batuan vulkanik. Jumlah dan komposisi kation dalam zeolit tergantung dari jenis zeolit dan lingkungan pembentukannya, misalnya mordenit umumnya banyak mengandung kalsium sedangkan klinoptilolit mengandung kalium. Zeolit yang terbentuk pada lingkungan marin, mengandung banyak natrium sedangkan zeolit yang terbentuk pada lingkungan vulkanik mempunyai kadar kalium dan magnesium yang tinggi (Kithome et al., 1998). Dalam bidang industri, zeolit dapat digunakan sebagai penjerap, penukar ion, katalis, maupun pengemban katalis.

Pupuk anorganik seperti urea, KCL, TSP, NPK, ZA, dan lain lain banyak digunakan dalam bidang pertanian. Penggunaan pupuk tersebut saat ini dirasa kurang efektif karena sekitar 40-60% unsur hara terbuang percuma yang menyebabkan kerugian ekonomi, rusaknya struktur tanah, dan mencemari air tanah dan sungai (De Datta, 1987).

Secara tradisional zeolit sudah dikenal oleh sebagian petani Indonesia. Beberapa petani sudah memanfaatkan zeolit untuk menambah subur tanah pertanian dengan jalan menaburkan pada lahan pertaniannya, penambahan zeolit alam dalam pupuk dapat mengontrol dan memperlambat pelepasan unsur hara, karena diinginkan unsur hara dapat cepat dijerap oleh zeolit namun dapat di-*release* kembali dengan lambat (*slow release fertilizer*) (Asyari, 2009).

Pada penelitian ini ingin diketahui konfigurasi zeolit yang dapat memberikan hasil terbaik dalam mengontrol pelepasan unsur hara pada pupuk.

Zeolit merupakan mineral kristalin dari kelompok tektosilikat, yaitu alumino-silikat terhidrasi dengan kation alkali dan alkali tanah seperti kalium, natrium, kalsium, dan magnesium yang mengisi rongga-rongga kerangka alumino-silikat dan mempunyai struktur tiga dimensi. Zeolit dicirikan oleh kemampuannya menyerap dan mengeluarkan air serta menukarkan bagian kationnya tanpa merubah struktur kristalnya (Subagyo, 1993).

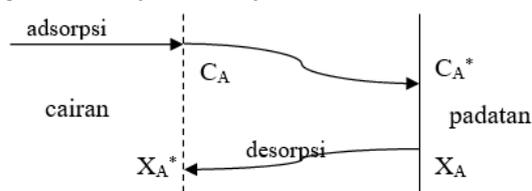
Penggunaan zeolit pada umumnya didasarkan pada sifat-sifat kimia zeolit, seperti adsorpsi, penukar kation, dan katalis. Proses aktivasi bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat khusus zeolit dengan membuang unsur pengotor yang terdapat di dalam zeolit. Ada dua cara yang digunakan dalam proses aktivasi zeolit, yaitu pemanasan dan kimia (Rini dan Lingga, 2010).

Salah satu aspek penggunaan zeolit dalam bidang pertanian adalah sebagai bahan campuran pupuk, khususnya pupuk nitrogen. Hal ini berdasarkan pada selektivitas adsorpsi zeolit yang tinggi terhadap ion amonium yang mampu mengefisienkan penggunaan pupuk kimia nitrogen sehingga penyerapan pupuk menjadi lebih efisien. Oleh karena itu zeolit dapat digunakan sebagai bahan pupuk tersedia lambat (*slow release fertilizer*) (Hikmah, 2006).

Penambahan zeolit pada pupuk nitrogen akan menjerap amonium yang dikeluarkan oleh pupuk. Jika konsentrasi nitrat dalam tanah menurun, amonium yang telah dijerap oleh zeolit akan dilepaskan kembali ke dalam larutan tanah, dengan cara demikian nitrogen yang diberikan ke dalam tanah dapat tersedia dalam waktu yang lama. Pupuk dalam bentuk *slow release fertilizers* (SRF), dapat mengoptimalkan penyerapan hara oleh tanaman dan mempertahankan keberadaan hara dalam tanah, karena SRF dapat mengendalikan pelepasan unsur sesuai dengan waktu dan jumlah yang dibutuhkan tanaman. Melalui cara ini, pemupukan tanaman, yang biasanya dilakukan petani tiga kali dalam satu kali musim tanam, cukup dilakukan sekali sehingga menghemat penggunaan pupuk dan tenaga kerja (Suwardi, 1991).

Adsorpsi merupakan salah satu bentuk dari *sorption operation*. Ada dua komponen penting dalam adsorpsi yakni fase bergerak (*adsorbate*) dan penjerap (*adsorbent*). Mekanisme proses adsorpsi pada dasarnya adalah proses penjerapan yang terjadi pada permukaan padatan. Proses transfer massa yang terjadi didasarkan pada permukaan yang aktif. Mula-mula molekul mendifusi melalui pori-pori (*macropore*). Kemudian melalui *mesopore*. Kemudian molekul terjerap dalam pori-pori kecil (*micropore*) dan tertahan didalamnya (Mc Cabe, 1985).

Kecepatan transfer bahan dari fase cair ke padat bergantung pada gradien konsentrasi dan koefisien transfer massa. Gradien konsentrasi merupakan ukuran besarnya penyimpangan dari keadaan setimbang dalam setiap fase. Kesetimbangan adalah keadaan dimana tidak ada lagi transfer massa *solute* diantara kedua fasa (Foust, 1980). Mekanisme transfer massa untuk system ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Adsorpsi Padat-Cair

Dari Gambar 1 dapat terlihat bahwa selama proses adsorpsi dan desorpsi, terjadi perubahan (gradien) pada konsentrasi *adsorbate* di fase cair. Dalam hal ini  $C_A^*$  setimbang dengan  $X_A$  dan  $X_A^*$  setimbang dengan  $C_A$ . Namun, laju desorpsi yang terjadi relatif sangat kecil sehingga untuk prosesnya akan dilakukan terpisah secara batch (Rianto, 2012).

Neraca massa *adsorbate* di dalam zeolit pada proses adsorpsi adalah (Rianto, 2012):

*Rate of mass input – Rate of mass output = Rate of mass accumulation* (1)

$$Ra - 0 = \frac{d(M_s X_A)}{dt} \quad (2)$$

$$k_a M_s (C_A - C_A^*) = M_s \frac{dX_A}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{dX_A}{dt} = k_a (C_A - C_A^*) \quad (4)$$

Neraca massa *adsorbate* di fase cair pada proses desorpsi adalah (Rianto, 2012):

*Rate of mass input – Rate of mass output = Rate of mass accumulation* (1)

$$Rd - 0 = \frac{d(M_s X_A)}{dt} \quad (5)$$

$$k_d M_s (C_A^* - C_A) = M_s \frac{dX_A}{dt} \quad (6)$$

$$\frac{dX_A}{dt} = -k_d (C_A - C_A^*) \quad (7)$$

Ada dua metode yang digunakan untuk mengetahui persamaan yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi sampel ( $C_A$ ) dengan kadar sampel dalam zeolit ( $X_A$ ).

Metode pertama yaitu Langmuir, perhitungan ini didasarkan pada penjerapan satu lapisan sehingga hanya ada satu lapisan molekul *adsorbate* yang dapat dijerap *adsorbent*. Dengan demikian kapasitas permukaan untuk penjerapan maksimum terbatas dimana semua situs dan permukaannya homogen.

Persamaan Langmuir:

$$X_A = \frac{X'_A \cdot K_L \cdot C_A}{1 + K_L \cdot C_A} \quad (8)$$

Metode kedua yaitu Freundlich, pendekatan metode Freundlich ini didasarkan pada anggapan bahwa tidak hanya satu lapisan molekul *adsorbate* saja yang terjerap *adsorbent* sehingga lapisan permukaan tidak dibatasi. Setelah permukaan padatan menjerap satu lapisan molekul *adsorbate* maka *adsorbate* masih bisa terjerap dan membentuk lapisan seterusnya dimana situs-situs aktif pada permukaan *adsorbent* bersifat heterogen.

Persamaan Freundlich:

$$X_A = K_F \cdot C_A^{1/n} \quad (9)$$

Dalam penelitian ini dicoba penggunaan zeolit alam karena mudah didapat dan telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dan sudah

banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui fungsi lain dari zeolit alam.

Rezaei dan Movahedi (2009) telah melakukan penelitian mengenai kinetika adsorpsi dan desorpsi berbagai variasi konsentrasi KCl pada tanah dengan campuran zeolit dan ion ammonium pada berbagai konsentrasi di Iran dengan pendekatan model Elovich. Kinetika adsorpsi dan desorpsi  $NH_4OH$  telah dilakukan oleh Kithome, et al. (1998) dengan variasi pada konsentrasi dan pH  $NH_4OH$  pada sampel zeolit berasal dari barat laut Amerika Serikat menggunakan pendekatan model Freundlich, *parabolic diffusion*, Elovich, dan *heterogeneous diffusion*.

Huang (2009) telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi  $NH_4OH$  pada sampel zeolit dari Tiongkok dengan satu jenis perlakuan aktivasi, dengan variasi pada waktu kontak, ukuran butir, jumlah *adsorbent*, dan keberadaan kation. Penelitian mengenai peristiwa adsorpsi  $NH_4OH$  pada zeolit alam di Indonesia telah dilakukan oleh Banon dan Suharto (2008) dengan menggunakan larutan ammonium nitrat sebagai perlakuan aktivasi sampel zeolit. Pengembangan model matematis adsorpsi zeolit alam pada peristiwa adsorpsi boron dalam larutan zirkonium telah dilakukan oleh Sholikati dan Prayitno (2009).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi kegunaan zeolit alam, dengan memfokuskan pada pembuatan model matematis peristiwa adsorpsi dan desorpsi  $NH_4OH$  dan KCl dengan variasi dua parameter pada aktivasi awal sampel zeolit dari Yogyakarta.

Dalam penelitian ini digunakan metode pemodelan untuk mempermudah proses analisis, karena zat murni mudah diukur konsentrasi awal dan akhirnya dengan metode titrasi yang sesuai. Analisis pupuk lebih sulit dilakukan daripada analisis zat murni, karena pada pupuk banyak terdapat zat lain atau pengotor sehingga konsentrasinya lebih sulit diukur dan tidak efektif untuk analisis sampel yang banyak seperti pada penelitian ini.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah: dalam waktu 24 jam, kesetimbangan adsorpsi padat cair telah tercapai, proses adsorpsi dilakukan dalam keadaan tertutup untuk meminimalisir jumlah zat yang terlepas ke udara, jumlah zat yang terjerap zeolit lebih besar dibandingkan yang terlepas ke udara, mekanisme desorpsi adalah murni kebalikan dari mekanisme adsorpsi.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: zeolit alam dari Kabupaten Gunung Kidul,  $NH_4OH$ , KCl, pupuk

ZA dan pupuk KCl yang diperoleh dari UD Usaha Tani Jl. Magelang Yogyakarta, dan bahan – bahan lain untuk proses titrasi: Aquadest, Boraks, HCl, *Methyl Orange*, Metil Merah,  $K_2CrO_4$ ,  $AgNO_3$ , NaOH, dan NaCl, yang diperoleh dari Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses dan Laboratorium Analisis Bahan, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

### Cara Penelitian

Zeolit ditumbuk halus dan kemudian diayak sampai diperoleh 3 ukuran berbeda (-30+40 mesh, -40+50 mesh, dan -50+60 mesh), kemudian zeolit tersebut diaktivasi dalam oven bersuhu  $250^\circ C$  selama 2, 3, dan 4 jam untuk masing masing ukuran zeolit. Kemudian *adsorbate* ( $NH_4OH$  atau KCl), sebanyak 100 ml ditambahkan 10 gram zeolit dengan variasi ukuran dan waktu aktivasi ke dalam gelas beker tertutup dan dibiarkan proses adsorpsi terjadi selama 24 jam. Setelah 24 jam, larutan disaring, kemudian zeolit tersebut dimasukkan dalam 100 ml aquadest di dalam gelas beker tertutup dan membiarkan proses desorpsi terjadi selama 24 jam. Banyaknya sampel yang dijerap oleh zeolit dihitung dari selisih antara konsentrasi larutan sampel sebelum dan sesudah penjerapan, begitu pula untuk banyaknya sampel yang dilepas oleh zeolit. Konsentrasi larutan diperoleh dengan metode titrasi yang sesuai untuk tiap sampel.

Tiga sampel dengan selisih konsentrasi awal dan akhir larutan (% terjerap) terbesar, akan dikalkulasi nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_a$ ) dan nilai konstanta laju desorpsi ( $k_d$ ) dari konfigurasi zeolit yang digunakan pada 3 sampel tersebut dengan cara menambahkan 1,5 gram zeolit ke dalam 100 ml larutan ( $NH_4OH$  atau KCl) di dalam gelas beker tertutup dan dibiarkan proses adsorpsi terjadi sampai 1 jam dengan pengambilan sampel tiap 15 menit, waktu adsorpsi dan desorpsi masing masing 1 jam dengan pengambilan data sampel tiap 15 menit. Setelah 1 jam, larutan disaring, kemudian zeolit tersebut dimasukkan dalam 100 ml aquadest di dalam gelas beker tertutup dan dibiarkan proses desorpsi terjadi selama 1 jam dengan pengambilan sampel tiap 15 menit.

Konfigurasi zeolit dengan nilai  $k_a$  terbesar akan di uji dengan pupuk ZA dan KCl, untuk kemudian dibandingkan dengan nilai  $k_a$  yang didapat dari permodelan. Komposisi untuk uji pupuk ZA adalah 1 gram pupuk ZA dicampur dengan 1 gram zeolit di dalam 125 ml NaOH. Komposisi untuk uji pupuk KCl adalah 1 gram pupuk KCl dicampur dengan 1 gram zeolit di dalam 125 ml Aquadest. Untuk mencari nilai  $k_a$  dari uji pupuk ini analog dengan cara yang dilakukan pada pemodelan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Adsorpsi dan Desorpsi $NH_4OH$ dan Pupuk ZA

Untuk mendapatkan 3 sampel dengan selisih konsentrasi awal dan akhir larutan (% terjerap) terbesar, maka diambil nilai rerata dari selisih konsentrasi awal dan akhir larutan tiap konfigurasi zeolit yang digunakan pada proses adsorpsi.

Dari Tabel 1 dapat dilihat konfigurasi zeolit yang memberikan nilai selisih konsentrasi awal dan akhir larutan, konfigurasi zeolit yang dipilih untuk dihitung nilai  $k_a$  dan  $k_d$  adalah : -30+40 mesh 3 jam, -40+50 mesh 2 jam, dan -50+60 mesh 2 jam.

**Tabel 1.** Data Nilai Rerata Selisih Konsentrasi Awal dan Akhir larutan  $NH_4OH$  pada Berbagai Konfigurasi Zeolit

Ukuran	Waktu aktivasi	$\Delta$ Konsentrasi, N	% terjerap
-30+40 mesh	2 jam	0,0530	18,88
	3 jam	0,0577	20,71
	4 jam	0,0554	19,71
-40+50 mesh	2 jam	0,0548	20,96
	3 jam	0,0471	18,05
	4 jam	0,0524	18,77
-50+60 mesh	2 jam	0,0613	21,09
	3 jam	0,0596	20,66
	4 jam	0,0495	17,56

Berdasarkan pada Tabel 1, untuk ukuran zeolit yang sama, daya jerap zeolit cenderung semakin menurun seiring dengan lamanya waktu pemanasan, hal ini dapat disebabkan karena waktu pemanasan yang terlalu lama akan merusak permukaan pori pori zeolit sehingga mengurangi luas permukaan yang dipakai untuk penjerapan dan ada kemungkinan zeolit tersebut sudah jenuh sehingga daya jerapnya menurun. Sementara untuk waktu pemanasan yang sama, daya jerap zeolit cenderung fluktuatif terhadap ukuran butir zeolit. Hal ini disebabkan karena pada saat percobaan ukuran butir yang digunakan tidak 100% seragam diakibatkan pengayakan yang tidak sempurna, sehingga menyebabkan terjadinya hasil yang fluktuatif.

Dari data pada tabel 2 dan 3, dapat dilihat hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $k_a$  lebih besar daripada nilai  $k_d$  untuk semua konfigurasi zeolit yang ditinjau, semakin besar nilai  $k_a$ , maka semakin cepat proses adsorpsi terjadi. Untuk membandingkan nilai  $k_a$  yang diperoleh dari pemodelan ini dengan pupuk sebenarnya, maka dipilih zeolit dengan konfigurasi -50+60 mesh 2 jam dan -40+50 mesh 2 jam untuk diujicoba dengan pupuk ZA.

**Tabel 2.** Data Nilai  $k_a$  dan  $k_d$  dengan Pendekatan Langmuir

Zeolit		Konstanta Langmuir		$k_a$	$k_d$
Ukuran	Waktu aktivasi	$K_L$	$X'_A$		
-30+40 mesh	3 jam	$3,0445 \times 10^{-1}$	$3,2889 \times 10^{-2}$	$2,8013 \times 10^{-4}$	$4,3834 \times 10^{-5}$
-40+50 mesh	2 jam	$8,0077 \times 10^{-2}$	$1,2513 \times 10^{-1}$	$3,5768 \times 10^{-4}$	$2,8079 \times 10^{-5}$
-50+60 mesh	2 jam	$1,4261 \times 10^{-1}$	$7,0283 \times 10^{-2}$	$3,8549 \times 10^{-4}$	$1,1131 \times 10^{-4}$

**Tabel 3.** Data Nilai  $k_a$  dan  $k_d$  dengan Pendekatan Freundlich

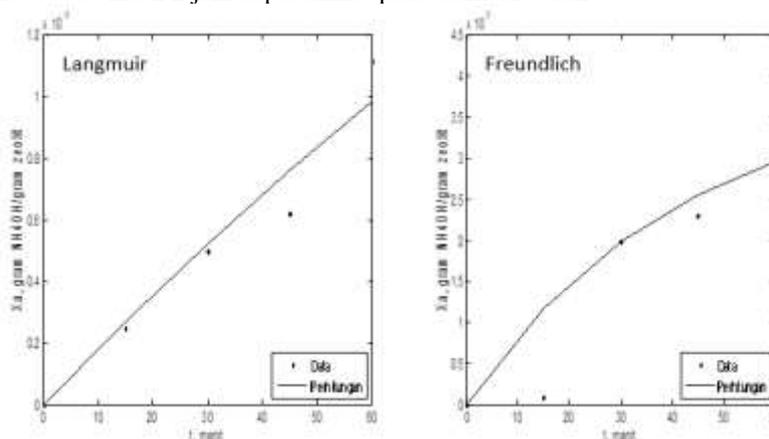
Zeolit		Konstanta Freundlich		$k_a$	$k_d$
Ukuran	Waktu aktivasi	$K_F$	n		
-30+40 mesh	3 jam	$9,9640 \times 10^{-3}$	1,0006	$2,6943 \times 10^{-4}$	$4,2162 \times 10^{-5}$
-40+50 mesh	2 jam	$9,9815 \times 10^{-3}$	1,0004	$3,5529 \times 10^{-4}$	$2,7791 \times 10^{-5}$
-50+60 mesh	2 jam	$1,0027 \times 10^{-2}$	$9,9931 \times 10^{-1}$	$3,7926 \times 10^{-4}$	$1,5914 \times 10^{-4}$

**Tabel 4.** Perbandingan Nilai Konstanta Laju adsorpsi ( $k_a$ )

Zeolit		$k_a$ Langmuir		$k_a$ Freundlich	
Ukuran	Waktu aktivasi	Model	Pupuk	Model	Pupuk
-40+50 mesh	2 jam	$3,5768 \times 10^{-4}$	$2,3913 \times 10^{-4}$	$3,5529 \times 10^{-4}$	$2,4079 \times 10^{-4}$
-50+60 mesh	2 jam	$3,8549 \times 10^{-4}$	$2,6330 \times 10^{-4}$	$3,7926 \times 10^{-4}$	$2,6770 \times 10^{-4}$

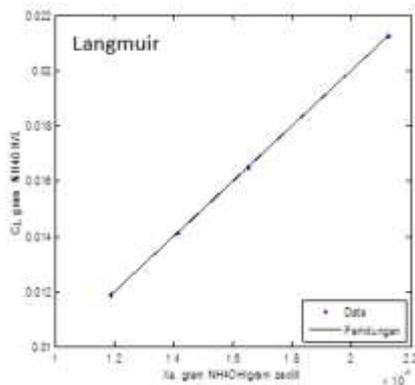
Dari Tabel 4 dapat dilihat perbandingan antara permodelan dan uji sebenarnya memberikan nilai  $k_a$  yang tidak berbeda jauh, perbedaan ini dapat disebabkan antara lain karena konsentrasi kandungan pupuk yang tidak murni dan adanya pengotor pada pupuk tersebut, sehingga nilai  $k_a$  yang diperoleh lebih kecil daripada yang diperoleh saat pemodelan.

Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa konfigurasi zeolit -50+60 mesh 2 jam memberikan nilai  $k_a$  terbesar. Grafik perbandingan perhitungan dengan metode Langmuir dan Freundlich untuk konfigurasi zeolit -50+60 mesh 2 jam dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.

**Gambar 3.** Perbandingan Data dan Hasil Perhitungan untuk Konfigurasi Zeolit -50+60 mesh dan 2 jam untuk adsorbate  $NH_4OH$ 

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi dilakukan, maka semakin banyak  $NH_4OH$  yang terjerap dalam zeolit ( $X_A$ ) sampai suatu saat  $NH_4OH$  tersebut tidak dapat terjerap lagi atau sudah dalam keadaan setimbang. Dari Gambar 4 terlihat hubungan antara

konsentrasi adsorbate di fase cair ( $C_A$ ) sebanding dengan konsentrasi adsorbate yang terjerap pada zeolit  $X_A$ . Dimana semakin banyak sisa adsorbate di fase cair, maka jumlah adsorbate yang dapat dijerap oleh zeolit akan semakin banyak pula.



**Gambar 4.** Hubungan antara  $X_A$  vs  $C_A$  untuk Konfigurasi Zeolit -50+60 mesh 2 jam untuk adsorbate  $NH_4OH$

**Adsorpsi dan Desorpsi KCl dan Pupuk KCl**

Untuk mendapatkan 3 sampel dengan selisih konsentrasi awal dan akhir larutan (% terjerap) terbesar, maka diambil nilai rerata dari selisih konsentrasi awal dan akhir larutan tiap konfigurasi zeolit yang digunakan pada proses adsorpsi.

Dari Tabel 5 dapat dilihat konfigurasi zeolit yang memberikan nilai selisih konsentrasi awal dan akhir larutan, konfigurasi zeolit yang dipilih untuk dihitung nilai  $k_a$  dan  $k_d$  adalah : -30+40 mesh 4 jam, -40+50 mesh 2 jam, dan -40+50 mesh 3 jam.

Berdasar pada Tabel 5, untuk ukuran zeolit yang sama, daya jerap zeolit cenderung fluktuatif seiring dengan lamanya waktu pemanasan. Sementara untuk waktu pemanasan yang sama, daya jerap zeolit cenderung fluktuatif terhadap ukuran butir zeolit. Hal ini disebabkan karena pada saat percobaan ukuran butir yang digunakan tidak 100% seragam diakibatkan pengayakan yang tidak sempurna, sehingga menyebabkan terjadinya hasil yang fluktuatif.

**Tabel 5.** Data Nilai Rerata Selisih Konsentrasi Awal dan Akhir larutan KCl pada Berbagai Konfigurasi Zeolit

Ukuran	Waktu aktivasi	$\Delta$ Konsentrasi, N	% terjerap
-30+40 mesh	2 jam	0,0196	5,49
	3 jam	0,0235	6,59
	4 jam	0,0284	7,86
-40+50 mesh	2 jam	0,0270	7,86
	3 jam	0,0275	7,65
	4 jam	0,0235	6,29
-50+60 mesh	2 jam	0,0245	6,86
	3 jam	0,0265	7,09
	4 jam	0,0275	7,41

**Tabel 6.**Data Nilai  $k_a$  dan  $k_d$  dengan Pendekatan Langmuir

Zeolit		Konstanta Langmuir		$k_a$	$k_d$
Ukuran	Waktu aktivasi	$K_L$	$X^*_A$		
-30+40 mesh	4 jam	5,2841 $\times 10^{-2}$	1,8962 $\times 10^{-1}$	6,6609 $\times 10^{-4}$	1,6584 $\times 10^{-4}$
-40+50 mesh	2 jam	5,8291 $\times 10^{-2}$	1,7192 $\times 10^{-1}$	1,1571 $\times 10^{-4}$	2,1759 $\times 10^{-5}$
-40+50 mesh	3 jam	5,8017 $\times 10^{-2}$	1,7275 $\times 10^{-1}$	1,2089 $\times 10^{-4}$	4,6696 $\times 10^{-5}$

**Tabel 7.** Data Nilai  $k_a$  dan  $k_d$  dengan Pendekatan Freundlich

Zeolit		Konstanta Freundlich		$k_a$	$k_d$
Ukuran	Waktu aktivasi	$K_F$	n		
-30+40 mesh	4 jam	1,0007 $\times 10^{-2}$	9,9972 $\times 10^{-1}$	6,3813 $\times 10^{-4}$	1,6082 $\times 10^{-4}$
-40+50 mesh	2 jam	9,9911 $\times 10^{-3}$	1,0002	1,1110 $\times 10^{-4}$	2,1636 $\times 10^{-5}$
-40+50 mesh	3 jam	9,9916 $\times 10^{-3}$	1,0002	1,1806 $\times 10^{-4}$	4,2266 $\times 10^{-5}$

Dari data pada Tabel 6 dan 7, dapat dilihat hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai  $k_a$  lebih besar daripada nilai  $k_d$  untuk semua konfigurasi zeolit yang ditinjau, semakin besar nilai  $k_a$ , maka semakin cepat proses adsorpsi terjadi. Untuk membandingkan nilai  $k_a$  yang diperoleh dari pemodelan ini dengan pupuk sebenarnya, maka dipilih zeolit dengan konfigurasi -30+40 mesh 4 jam dan -40+50 mesh 3 jam untuk diujicoba dengan pupuk KCl.

**Tabel 8.**Perbandingan Nilai Konstanta Laju Adsorpsi ( $k_a$ )

Zeolit		$k_a$ Langmuir		$k_a$ Freundlich	
Ukuran	Waktu aktivasi	Model	pupuk	model	Pupuk
-30+40 mesh	4 jam	6,6609 $\times 10^{-4}$	2,0728 $\times 10^{-4}$	6,3813 $\times 10^{-4}$	2,0798 $\times 10^{-4}$
-40+50 mesh	3 jam	1,2089 $\times 10^{-4}$	1,7245 $\times 10^{-4}$	1,1806 $\times 10^{-4}$	1,7294 $\times 10^{-4}$

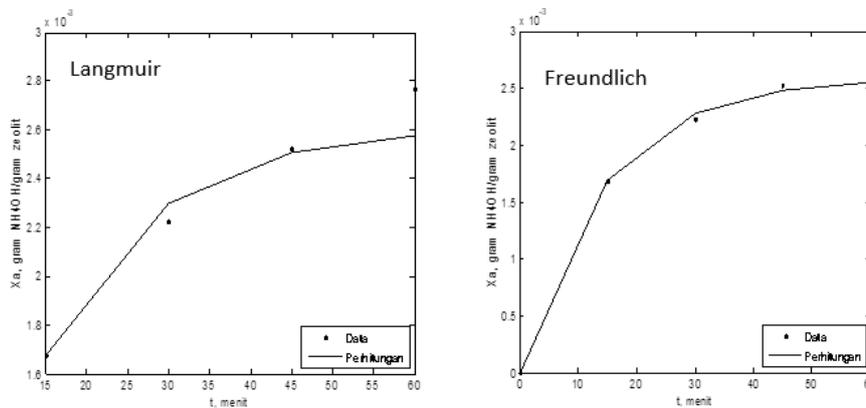
Dari Tabel 8 dapat dilihat perbandingan antara pemodelan dan uji sebenarnya memberikan nilai  $k_a$  yang sedikit berbeda, perbedaan ini dapat disebabkan antara lain karena konsentrasi kandungan pupuk yang tidak murni dan adanya pengotor pada pupuk tersebut.

Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa konfigurasi zeolite -30+40 mesh 4 jam memberikan nilai  $k_a$  terbesar. Grafik perbandingan perhitungan dengan metode Langmuir dan Freundlich untuk konfigurasi zeolite -30+40 mesh 4 jam dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

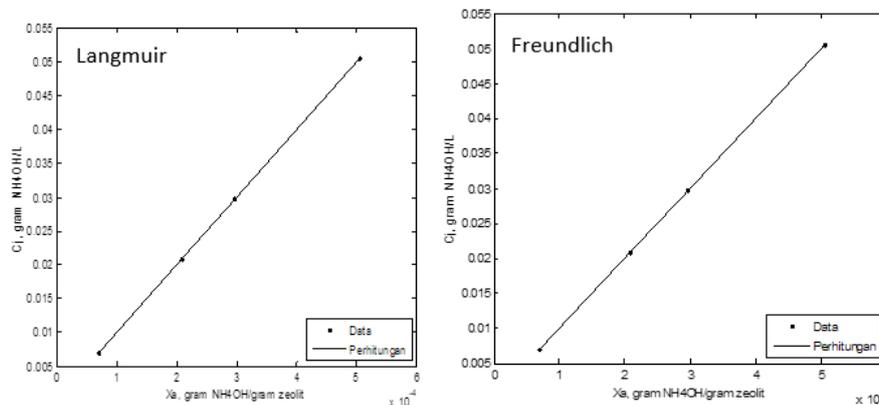
Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi dilakukan, maka semakin banyak KCl yang terjerap dalam zeolit ( $X_A$ ) sampai suatu saat KCl tersebut tidak dapat terjerap lagi atau sudah dalam keadaan setimbang. Dari

Gambar 6 terlihat hubungan antara konsentrasi *adsorbate* di fase cair ( $C_A$ ) sebanding dengan konsentrasi *adsorbate* yang terjerap pada zeolit  $X_A$ .

Dimana semakin banyak sisa *adsorbate* di fase cair, maka jumlah *adsorbate* yang dapat dijerap oleh zeolit akan semakin banyak pula.



Gambar 5. Perbandingan Data dan Hasil Perhitungan untuk Konfigurasi Zeolit -30+40 mesh 4 jam untuk *adsorbate* KCl



Gambar 6. Grafik Hubungan antara  $X_A$  vs  $C_A$  untuk Konfigurasi Zeolit -30+40 mesh 4 jam dengan *adsorbate* KCl

**KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Zeolit dapat digunakan untuk menyerap unsur hara pada pupuk, sehingga dapat menekan laju penguapan pupuk ke lingkungan.
2. Peristiwa adsorpsi dan desorpsi pada pupuk dapat dimodelkan dengan adsorpsi dan desorpsi dengan larutan murni.
3. Pengaruh ukuran dan waktu aktivasi zeolit terhadap daya jerapnya sangat bervariasi.
4. Pada permodelan dengan *adsorbate*  $NH_4OH$ , konfigurasi zeolite -50+60 mesh dan 2 jam memberikan nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_a$ ) terbesar. Sedangkan pada permodelan dengan *adsorbate* KCl, konfigurasi zeolite -30+40 mesh dan 4 jam memberikan nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_a$ ) terbesar.

5. Pada penelitian ini nilai konstanta laju adsorpsi ( $k_a$ ) lebih besar daripada nilai konstanta laju desorpsi ( $k_d$ )

**DAFTAR SIMBOL**

- $M_s$  : Massa zeolit (gram)
- $X_A$  : konsentrasi *adsorbate* yang terjerap pada zeolit (gram *adsorbate*/gram zeolite)
- $X_A^*$  : konsentrasi *adsorbate* di zeolit yang setimbang dengan konsentrasi *adsorbate* sisa di fasa cair (gram *adsorbate*/gram zeolit)
- $C_A$  : konsentrasi *adsorbate* di fase cair (gram *adsorbate*/liter)
- $C_A^*$  : konsentrasi *adsorbate* di fase cair yang setimbang dengan konsentrasi *adsorbate* di zeolit (gram *adsorbate*/liter)
- $k_a$  : konstanta kecepatan adsorpsi (L/gram *adsorbent*.menit)

- $k_d$  : konstanta kecepatan desorpsi (L/gram adsorbent.menit)  
 $K_L$  : parameter persamaan *isotherm* Langmuir  
 $X'_A$  : parameter persamaan *isotherm* Langmuir  
 $K_F$  : parameter persamaan *isotherm* Freundlich  
 $n$  : parameter persamaan *isotherm* Freundlich

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASYARI, M.A., 2009, “Penelitian Awal Granulasi Pupuk Kandang, Pupuk Anorganik, dan Zeolit sebagai Slow Release Fertilizer”, Laporan Penelitian, Laboratorium Teknologi Keramik, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- BANON, C. DAN SUHARTO, T.E., 2008, “Adsorpsi Amoniak oleh Adsorben Zeolit Alam yang Diaktivasi dengan Larutan Amonium Nitrat”, *Jurnal Gradien*, 4(2), 354-360, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu, Indonesia.
- DE DATTA, S.K., 1987, “Advances in Soil Fertility Research and Nitrogen Fertilizer Management for Lowland Rice”, Efficiency of Nitrogen Fertilizer for Rice, pp.27-41, International Rice Research Institute, Manila.
- FOUST, A.A., 1980, “Principles of Unit Operation”, 2nd edition, John Wiley And Sons Inc., New York.
- HIKMAH, N., 2006, “Peranan Zeolit Dalam Pelepasan Nitrogen dari Pupuk Tersedia Lambat (Slow Release Fertilizers)”, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- HUANG, H., XIAO, X., YAN, B., YANG, L., 2009, “Ammonium removal from aqueous solutions by using natural Chinese (Chende) zeolite as adsorbent”, *Journal of Hazardous Materials*, 175, 247-252, Elsevier B.V., Guangzhou.
- JEFFERY, G.H., BASSETT, J., MENDHAM, J., DENNEY, R.C., 1989, “Vogel’s Textbook of Quantitative Chemical Analysis”, 5th ed., pp. 274-275, 286, 300, 348-349, Longman Scientific & Technical, New York.
- KITHOME, M., PAUL, J.W., LAVKULICH, L.M., 1998, “Kinetics of Ammonium Adsorption and Desorption by the Natural Zeolite Clinoptilolite”, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 622–629, University of British Columbia, Vancouver.
- MC CABE, W.C., SMITH, J.C., AND HARRIOT, P., 1985, “Operation of Chemical Engineering”, 4 ed., pp. 686-704, Mc Graw Hill International, New York.
- REZAEI, M. & MOVAHEDI NAEINI, S.A.R., 2009, “Effects of Ammonium and Iranian Natural Zeolite on Potassium Adsorption and Desorption Kinetics in the Loess Soil”, *International Journal of Soil Science*, 4 (2), 27-45, Academic Journal Inc., Golestan Province.
- RIANTO, ADAM KUSUMA, 2012, “Studi Pengurangan Kadar Air dan Asam Lemak Bebas pada Minyak Kelapa Sawit dengan Adsorpsi Menggunakan Zeolit Alam”, Laporan Penelitian, Laboratorium Proses Pemisahan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- RINI, DIAN KUSUMA & LINGGA, FENDY ANTHONIUS, 2010, “Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi”, Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- SHOLIKHATI, S.U. DAN PRAYITNO, 2009, “Penentuan Kecepatan Adsorpsi Boron dalam Larutan Zirkonium dengan Zeolit”, Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir, 5 November 2009, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-Batan, Yogyakarta.
- SUBAGYO, 1993, “Zeolit: Struktur dan Sifat-Sifatnya”, *Warta Insinyur Kimia*, vol. 7, No. 3, hal.17-23, BKK-PII.
- SUWARDI, 1991, “The Mineralogical and Chemical Properties of Natural Zeolite and Their Application Effect for Soil Amandement”, A Thesis for the Degree of Master Laboratory of Soil Science Departement of Agriculture Chemistry, Tokyo University of Agriculture.
- SUWARDI, 2002, “Pemanfaatan Zeolit untuk Meningkatkan Produksi Tanaman Pangan, Peternakan, dan Perikanan”, Seminar Teknologi Aplikasi Pertanian Bogor IPB.
- TREYBAL, R.E., 1981, “Mass Transfer Operation”, pp. 565-567, 641-644, Mc Graw Hill International, New York.