



Sintesis Zeolit Lynde Type-A (LTA) Dari Zeolit Alam Lampung (Zal) Menggunakan Metode *Step Change Temperature Of Hydrothermal* Dengan Variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Diaplikasikan Untuk Dehidrasi Etanol

Simparmin Br.Ginting¹, Devi Permata Sari¹, Dewi Agustina Iryani¹, Darmansyah¹,
Muhammad Hanif¹, Herry Wardono²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof Soemantri Brojonegoro No.1 Gedong Meneng Bandar Lampung, 35145 Indonesia

Inti Sari

Zeolit Lynde Type-A (LTA) merupakan zeolit sintesis yang memiliki berbagai kegunaan antara lain sebagai adsorben, katalis, membran, penukar ion, dan molecular sieve. Sebagai molecular sieve, zeolit LTA memiliki kemampuan dehidrasi yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk dehidrasi air dalam campuran etanol-air. Zeolit LTA tergolong dalam kadar si/al rendah, maka zeolit ini mempunyai sifat hidrofilik dan afinitas yang tinggi untuk menjerap air dalam etanol. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh zeolit LTA sintesis dari variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terbaik agar diperoleh persen kristalinitas yang tinggi sehingga didapatkan etanol yang sesuai dengan FGE (Fuel Grade Ethanol), yaitu kemurnian mencapai >99%. Variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada penelitian ini adalah 1; 1,2; 1,4 dan 1,8 mol/mol. Sumber silika dan alumina yang digunakan berasal dari Zeolit Alam Lampung (ZAL). Tahapan sintesis dilakukan pada sebuah water bath dengan metode step change temperature pada 90°C selama 1,5 jam dan 95°C selama 2,5 jam. Berdasarkan analisis XRD didapatkan persen kristalinitas tertinggi pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol sebesar 71,39 %. Hasil analisis FTIR terdapat ciri khas zeolit LTA yaitu adanya double rings pada bilangan gelombang 500-650 cm^{-1} . Hasil analisis BET didapatkan zeolit LTA berukuran mesopori dan tergolong dalam loop histerisis tipe H3. Dari hasil uji dehidrasi adsorptif etanol-air diperoleh kemurnian etanol tertinggi pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol sebesar 99,56 %. Pola isoterm adsorpsi air mengikuti model isoterm Langmuir dengan nilai $R^2 = 0,995$, kapasitas adsorpsi $q_m = 0,8217$ mg air/g adsorben dan intensitas adsorpsi $K_a = 0,0231$. Kinetika adsorpsi air oleh zeolit LTA sintesis sesuai dengan model kinetika adsorpsi pseudo orde 2 dengan nilai tetapan laju reaksi sebesar 0,3065 g/(min-mg) dan nilai q_e sebesar 0,2695 g air/g adsorben.

Abstract

Lynde Type-A Zeolite (LTA) is a synthetic zeolite which has various uses including adsorbent, catalyst, membrane, ion exchangers, and molecular sieves. As a molecular sieve, zeolite LTA has high dehydration ability can be used to dehydrate water in a

Kata Kunci: Etanol, Metode *Step Change Temperature*, Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Zeolit Alam Lampung, Zeolit LTA

Key Words : Ethanol, *Step Change Temperature* Method, Rasio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Zeolit Alam Lampung, Zeolite LTA

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Phone Number

+62 852 5560 3559
+62 823 4988 0792

Corresponding Author

simparmin.ginting@eng.unila.ac.id



Journal History

Paper received : 20 April 2019
Received in revised form : 20 Mei 2019
Accepted : 30 Mei 2019

ethanol-water mixture. Zeolite LTA is a zeolite classified as low Si/Al ratio zeolite, so this zeolite has a high hydrophilic and high affinity to absorb water in ethanol. The purpose of the research was to obtain zeolite LTA synthesis from the best variation of the $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio in order to obtain high relative percentage of crystallinity so that to obtain ethanol which is fill the criteria of FGE (Fuel Grade Ethanol), which is > 99% purity. The ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ in this research is 1; 1,2; 1,4 and 1,8 mol/mol. The sources of Silica and Alumina used are from Natural Lampung Zeolite (ZAL). The stages of synthesis were carried out in a water bath using the hydrothermal step change temperature method, which was at 90°C for 1.5 hours and 95°C for 2.5 hours. Based on the XRD analysis, the highest percentage of crystallinity was obtained ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1.8 mol/mol to 71.39%. Based on FTIR analysis, the synthesis has the characteristic of zeolite LTA, that is double rings at wave number 550-600 cm^{-1} . The results of FTIR analysis obtained mesoporous-sized zeolite LTA and belong to the H3 type hysteresis loop. From the results of ethanol-water adsorptive dehydration test obtained the highest ethanol purity at $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio of 1.8 mol/mol of 99.56%. The water adsorption isotherm pattern follows the Langmuir isotherm model with a value of $R^2 = 0,995$, the adsorption capacity of $q_m = 0,8217$ mg air/g adsorbent, and the adsorption intensity of $K_a = 0,0231$. Water adsorption kinetic by synthetic zeolite LTA which is fill the criteria of the pseudo-order 2 with a reaction rate constant value of 0,3065 g/(min-mg) and $q_e = 0,2695$ g air/g adsorbent.

PENDAHULUAN

Krisis bahan bakar di dunia semakin lama semakin buruk dikarenakan menipisnya pasokan bahan bakar fosil. Selain itu masalah pemanasan global membuat etanol berpotensi sebagai bahan bakar ramah lingkungan. Penggunaan etanol sebagai pengganti bahan bakar bermotor masih memiliki kendala karena mengandung 4-5 % air yang dapat mengganggu kinerja mesin dan mengakibatkan kerusakan pada mesin jika digunakan dalam waktu yang lama. Sehingga jika etanol ingin digunakan sebagai bahan bakar (*biofuel*) pada kendaraan bermotor perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut agar didapatkan kemurnian sampai 99% yang lazim disebut *fuel grade ethanol* (FGE). Cara pemurnian yang paling sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan untuk diterapkan pada unit pemurnian etanol yaitu teknik dehidrasi-adsorptif dengan cara penyaringan molekuler menggunakan zeolit atau disebut *zeolite molecular sieve* (Chopade,2015 ; Khaidir,2011 ; Rahman dkk.,2015).

Zeolit yang banyak dipakai untuk pemurnian etanol adalah zeolit sintesis. Salah satu tipe dari zeolit sintesis yaitu zeolit LTA. Zeolit A dikenal dengan sebutan *Linde Type-A* (LTA) memiliki harga yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan zeolit alam karena disintesis dari bahan kimia komersial yang belum diproduksi di Indonesia. Bahan baku utama untuk

mensintesis zeolit adalah silika dan alumina. Kedua bahan tersebut dapat diperoleh dari memanfaatkan limbah industri maupun yang berasal dari alam seperti bagas tebu,sekam padi, CBA (*Coal Bottom Ash*), CFA (*Coal Fly Ash*), dan zeolit alam (Rahman dkk.,2015). Provinsi Lampung sendiri memiliki sumber zeolit alam yang sangat melimpah. Data yang bersumber dari Direktorat Pengembangan Potensi Daerah tahun 2012 menyatakan bahwa potensi sumber daya alam zeolit yang ada di Lampung berkisar 31.173.505 ton. Zeolit Alam Lampung (ZAL) memiliki kandungan silika (SiO_2) sebesar 79,106 % berat dan alumina (Al_2O_3) sebesar 15,824 % berat. Kandungan silika dan alumina dari ZAL ini sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pengganti silika dan alumina komersil untuk mensintesis zeolit LTA (Ginting dkk.,2017)

Dalam mensintesis zeolit LTA, ada beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan zeolit. Salah satunya yaitu rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ merupakan faktor yang sangat berperan dalam menentukan struktur dan komposisi kristal yang akan disintesis. Kristalinitas memiliki hubungan yang linier dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, dimana semakin tinggi rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ akan meningkatkan kristalinitas terhadap produk. Dengan meningkatnya kristalinitas zeolit tersebut maka mempengaruhi efektifitas

pemurnian etanol karena diperoleh diameter pori, komposisi, dan saluran rongga yang optimum (Sutarno, 2009). Berbagai penelitian terdahulu mengenai sintesis zeolit dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ telah banyak dilakukan. Wang (2008) telah mensintesis zeolit A dari *fly ash* dikatakan bahwa untuk proses pembentukan zeolit A dilakukan pada suhu optimum 100°C , waktu yang relatif pendek, konsentrasi basa yang rendah, dan perbandingan rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang rendah yaitu pada *range* 1 sampai 2. Penelitian yang dilakukan oleh Nikmah dkk (2008) yang mengkaji pengaruh perbandingan $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap pembentukan zeolit A dari abu dasar bebas karbon dengan menggunakan metode hidrotermal langsung. Kristalisasi hidrotermal dilakukan dengan variasi waktu (12-144 jam) dan rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (1:1,2:1,4), didapatkan jenis zeolit yang terbentuk berupa zeolit A, X, P, dan sodalite. Zeolit yang terbentuk paling dominan dengan berbagai variasi kondisi hidrotermal yaitu zeolit A yang memiliki 2 struktur yang berbeda yaitu ortorombik dan kubik. Zeolit A dengan struktur ortorombik yang lebih dominan terjadi pada kondisi suhu hidrotermal 160°C selama 24 jam dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$. Mirfendereski dan Mohammadi (2016) telah mensintesis zeolit NaA dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (1,92:3,50:5,00) terhadap kristalinitas dan kristal zeolit NaA yang menunjukkan bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang sedikit meningkat mengurangi kristalinitas secara signifikan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi ini (alkalinitas rendah), kristal zeolit Na-A hanya diproduksi jika rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang terendah yaitu 1,92.

Proses sintesis zeolit LTA menggunakan metode *step change temperature*. Metode tersebut mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hui dan Chao (2005). Menurut penelitian Hui dan Chao (2005), untuk menghasilkan kemurnian kristalinitas yang tinggi dalam sintesis zeolit 4A dibutuhkan pengaplikasian metode *step change temperature of hydrothermal*. Waktu dan suhu *step change* yang divariasikan adalah : $T_1 = 80^\circ\text{C}$ (1,5 jam) & $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (6,5 jam); $T_1 = 85^\circ\text{C}$ (1,5 jam) & $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (4 jam); $T_1 = 90^\circ\text{C}$ (1,5 jam) & $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (3,5 jam); $T_1 = 90^\circ\text{C}$ (1,5 jam) & $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (2,5 jam); $T_1 = 95^\circ\text{C}$ (1,5 jam) & $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (3,5 jam). Sampel dengan variasi $T_1 = 90^\circ\text{C}$ (1,5 jam) dan $T_2 = 95^\circ\text{C}$ (2,5 jam) menunjukkan kenaikan persen

kristalinitas sebanyak 15-16% dari sampel yang lain. Pembentukan kristal zeolit LTA akan semakin bagus jika suhu dinaikkan, akan tetapi jika melewati suhu 95°C mengakibatkan pembentukan kristal zeolit lainnya yaitu kristal zeolit *hydroxy-sodalite*. Selain itu, laju pembentukan kristal dan nukleasi juga akan semakin meningkat seiring dengan waktu yang bertambah, hal ini mengakibatkan pertumbuhan kristal akan semakin cepat (Hui dan Chao, 2005)

Studi ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada sintesis zeolit LTA dengan memanfaatkan ZAL sebagai sumber silika-alumina dan kinetika dehidrasi-adsorptif zeolit LTA sintesis pada campuran etanol-air. Prosedur sintesis zeolit LTA ini mengacu pada penelitian yang dilakukan Mirfendereski dan Mohammadi (2016) dan Hui dan Chao (2005). Yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah pada pemilihan bahan baku alami yaitu Zeolit Alam Lampung (ZAL) dengan pengaplikasian metode *step change temperature of hydrothermal*, dan adanya modifikasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol untuk memperoleh zeolit LTA dengan persen kristalinitas tinggi yang digunakan sebagai adsorben pada proses dehidrasi-adsorptif etanol-air sehingga akan didapatkan etanol murni dengan kadar minimum 99% yang memenuhi standar sebagai bahan bakar (*fuel grade*).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Zeolit Alam Lampung yang berasal dari CV. Minatama Bandar Lampung dengan kandungan SiO_2 sebesar 79,046%; Al_2O_3 sebesar 15,815%; dan impuritis lainnya sebesar 5,07%, padatan NaOH (*pro analysis* dari UNI-CHEM CNA 43/500), serbuk Al_2O_3 sebagai sumber alumina (*pro analysis* dari UNI-CHEM CAS 169/1000),serta aquades didapatkan dari Laboraturium Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mortar, ayakan 200 *mesh*, erlenmeyer, termometer, corong gelas, neraca digital, *magnetic stirrer*, botol *polypropylene*, *water bath*, pH indikator, desikator, kertas saring, dan oven.

Metode Penelitian

Prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Pretreatment bahan baku

Zeolit Alam Lampung (ZAL) dihaluskan menggunakan mortar setelah itu diayak dengan ayakan 200 *mesh*. Timbang ZAL sebanyak 6,00 gram; 7,20 gram; 8,40 gram; 10,80 gram (untuk masing-masing rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol)

2. Pembuatan larutan silika alumina

Komposisi molar gel sintesis sebesar $x\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 : 3,16\text{Na}_2\text{O} : 128\text{H}_2\text{O}$ (Mirfendereski dan Mohammadi, 2016). Tahapan pembuatannya antara lain :

a. Pembuatan larutan sodium hidroksida

Larutkan NaOH sebanyak 10 gram kedalam 182,28 mL aquades hingga homogen. Kemudian larutan NaOH tersebut dibagi menjadi dua bagian dengan jumlah yang sama. Beri label larutan A dan larutan B

b. Pembuatan larutan sodium silikat

Larutkan ZAL yang sudah ditimbang kedalam larutan A dan diaduk hingga homogen pada suhu 60°C selama satu jam menggunakan magnetic stirrer

c. Pembuatan larutan sodium aluminat

Larutkan 6,79 gram Al_2O_3 kedalam larutan B dan diaduk hingga homogen pada suhu 60°C selama satu jam menggunakan magnetic stirrer

d. Pembuatan larutan silika alumina

Larutan sodium silikat ditambahkan kedalam larutan sodium aluminat dan dicampur hingga terbentuk gel silika alumina yang homogen. Selanjutnya gel didiamkan selama 45 jam

3. Tahap sintesis

Tahapan sintesis mengacu pada penelitian Hui dan Chao (2005). Larutan silika alumina setelah di aging selama 45 jam kemudian dimasukkan kedalam reaktor (botol *polypropylene*) 500 mL tanpa pengaduk dan direaksikan secara hidrotermal pada *water bath*. Proses sintesis menggunakan metode *step change temperature* dimana terjadi dalam dua tahap sintesis, sintesis yang pertama menggunakan suhu 90°C selama 1,5 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 95°C selama 2,5 jam.

Setelah tahap sintesis selesai, sampel disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dengan *mother liquor* (filtrat). Padatan hasil sintesis dicuci menggunakan aquades sampai didapatkan nilai pH 7. Kemudian padatan dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C selama dua jam. Padatan yang sudah kering disimpan didalam desikator dan siap dikarakterisasi.

4. Karakterisasi zeolit

Karakterisasi zeolit LTA dilakukan dalam empat tahapan antara lain :

a. *X-Ray Diffraction* (XRD) menggunakan alat PHILIPS-binary (Scan) dengan nilai rentang $2\theta = 5 - 50$

b. *Fourier Transmission Infra Red* (FTIR) menggunakan alat Shimadzu, Type : IRPrestige21

c. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan alat ZEISS *Electron Microscopy*

d. *Brunaur, Emmet, and Teller* (BET) menggunakan alat Quantachrome Instrument

5. Uji dehidrasi-adsorptif zeolit LTA hasil sintesis

Ada beberapa tahapan uji dehidrasi-adsorptif zeolit LTA hasil sintesis sebagai berikut :

a. Penentuan adsorben terbaik

Timbang 6 gram zeolit LTA hasil sintesis untuk masing-masing rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, kemudian zeolit tersebut dilarutkan kedalam 30 mL etanol dengan kemurnian 96% (perbandingan zeolit : etanol yaitu 1:5). Tutup campuran larutan menggunakan aluminium foil agar tidak menguap. Selanjutnya dilakukan proses dehidrasi-adsorptif selama 1 jam. Ambil sampel larutan etanol dari proses dehidrasi-adsorptif. Masukkan larutan kedalam piknometer dan timbang massa larutan tersebut. Hitung densitas etanol kemudian akan diperoleh adsorben terbaik yang dilihat dari kemurnian etanol. Untuk menghitung kemurnian etanol dan % penjerapan air menggunakan persamaan berikut ini :

Kadar kemurnian etanol

$$M = \frac{X_2 - X}{X_2 - X_1} M_1 + \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} M_2 \dots\dots\dots(1)$$

% penjerapan air

$$\% \text{ penjerapan air} = \frac{\text{air yang teradsorpsi}}{\text{kadar etanol mula-mula}} \times 100\% \dots\dots(2)$$

b. Penentuan waktu optimum

Tahap ini menentukan waktu optimum proses dehidrasi-adsorptif dari adsorben terbaik yang telah didapat pada tahap sebelumnya. Waktu kontak optimum akan digunakan sebagai waktu acuan uji dehidrasi-adsorptif etanol-air dengan variasi etanol-air yang berbeda-beda. Ambil 6 gram zeolit dilarutkan kedalam 30 mL larutan etanol dengan kemurnian 96%. Tutup campuran larutan menggunakan aluminium foil agar tidak menguap. Ambil sampel larutan etanol setiap 5 menit sekali. Masukkan larutan kedalam piknometer dan timbang massa larutan tersebut. Untuk mengetahui kemurnian etanol dapat menggunakan persamaan (1) dan (2). Ulangi pengambilan sampel sampai massa larutan etanol konstan.

6. Model isoterm dan kinetika adsorpsi

Untuk mendapatkan model isoterm dan kinetika adsorpsinya, dilakukan tahap uji dehidrasi-adsorptif etanol-air dengan variasi konsentrasi etanol-air yang berbeda menggunakan adsorben terbaik dan waktu kontak optimum yang telah didapat pada langkah sebelumnya. Terdapat 5 variasi konsentrasi etanol-air yaitu 70%-30%, 80%-20%, 85%-15%, 90%-10%, 95,1%-4,9%. Tahapan nya yaitu zeolit direndam kedalam larutan etanol-air. Tutup campuran larutan menggunakan aluminium foil agar tidak menguap. Selanjutnya, proses dehidrasi-adsorptif dilakukan selama waktu optimum tersebut. Ambil sampel larutan. Masukkan larutan kedalam piknometer dan timbang massa larutan tersebut. Dari percobaan, akan diperoleh data C_0 (konsentrasi awal larutan), C_e (konsentrasi larutan pada kesetimbangan) dan q_e (jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan). Persamaan yang digunakan untuk menentukan model isotherm dan kinetika adsorpsi sebagai berikut :

a. Nilai q_e

Nilai q_e didapatkan dari persamaan berikut :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{w} \times V \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dengan nilai V adalah volume adsorbat (mL) dan W adalah massa adsorbat (gram)

b. Persamaan isoterm Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_a q_m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

c. Persamaan isoterm Freundlich

$$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln k_f \quad \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

K_a : intensitas adsorpsi (langmuir)

K_f : intensitas adsorpsi (freundlich)

q_m : kapasitas adsorpsi (langmuir)

n : kapasitas adsorpsi (freundlich)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)

Analisis XRF bertujuan untuk mengetahui komposisi-komposisi komponen penyusun dari suatu zat. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berperan dalam menentukan struktur dan komposisi kristal yang akan disintesis. Untuk menghasilkan zeolit LTA sintesis harus dikendalikan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (>2). Untuk menetapkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol, diperlukan komposisi silika dan alumina dari bahan baku tersebut. Sumber silika dan alumina berasal dari Zeolit Alam Lampung (ZAL). ZAL yang digunakan sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Ginting dkk (2017). Berdasarkan hasil analisis XRF, komposisi penyusun Zeolit Alam Lampung (ZAL) ditunjukkan pada tabel 1.

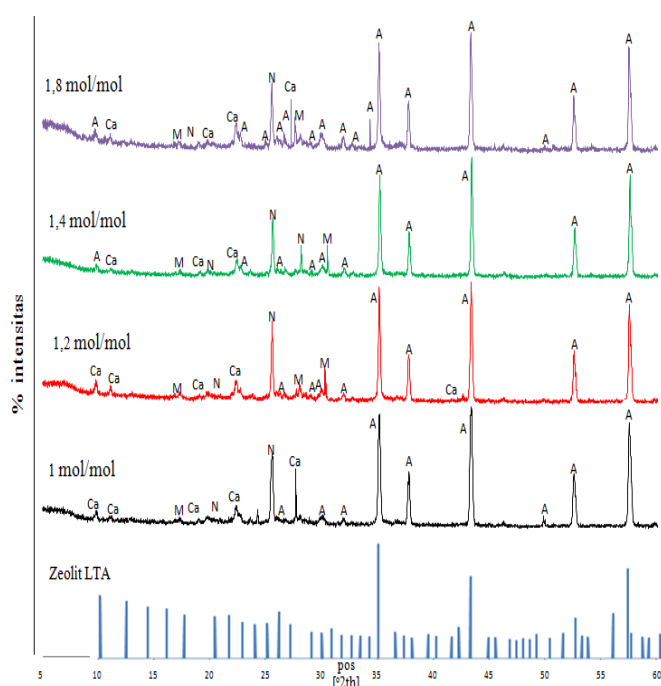
Tabel 1. Hasil analisis XRF ZAL

Komposisi	Konsentrasi (%)
Al_2O_3	15,815
SiO_2	79,046
K_2O	1,813
CaO	1,401
MnO	0,018
Fe_2O_3	1,157
Rb_2O	0,008
SrO	0,024
Y_2O_3	0,002
ZrO_2	0,013
Ag_2O	0,184
BaO	0,045
Eu_2O_3	0,009
Cl	0,014

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa kandungan silika SiO_2 sebesar 79,046 % dan alumina sebesar 15,815 %. Tinggi nya kandungan silika dalam ZAL menyebabkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada ZAL tersebut

sebesar 8,83 mol/mol. Untuk mensintesis zeolit LTA dari ZAL, maka harus diturunkan dan dikendalikan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (>2). Dimana tetapan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada penelitian ini yaitu 1 ; 1,2 ; 1,4 dan 1,8 mol/mol. Dengan tetapan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang diinginkan, diperlukan penambahan sumber alumina lain yang berasal dari produk Al_2O_3 komersil. Sehingga akan diperoleh rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang diharapkan.

2. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)



Gambar 1. Analisis XRD zeolit LTA variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol dibandingkan dengan zeolit LTA standar (Yanagida,1973)

Keterangan gambar :

A = Zeolit LTA

Ca = Calcium Aluminum Silicate Ca

N = Anorthite ($\text{Al}_2\text{CaO}_8\text{Si}_2$)

M = Mullite ($\text{Al}_{2,34}\text{O}_{4,83}\text{Si}_{0,66}$)

Gambar 1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD setelah proses sintesis untuk keempat produk zeolit LTA terlihat adanya puncak spesifik dari zeolit LTA yang sesuai dengan puncak spesifik dari zeolit LTA standar. Keempat rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 :

1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol menunjukkan bahwa mineral penyusun mengandung kristal *calcium alluminate silicate*, *anorthite*, *mullite* dan zeolit LTA. Selain terbentuknya zeolit LTA, ditemukan juga produk samping seperti *calcium alluminate silicate*, *anorthite*, *mullite*. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh sumber silika, konsentrasi NaOH, dan temperatur.

Pada gambar 1 memperlihatkan semakin meningkat rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, zeolit LTA yang terbentuk jumlahnya semakin banyak dan intensitas difraksi XRD dari zeolit LTA menunjukkan puncak yang semakin tajam. Hal ini dapat ditunjukkan intensitas yang semakin tajam pada daerah pos [$^{\circ}2\theta$] yaitu $34,270^{\circ}$ dan $44,283^{\circ}$. Dimana untuk pos [$^{\circ}2\theta$] $34,270^{\circ}$ berturut-turut mempunyai intensitas sebesar $6,1224^{\circ}$; $6,6384^{\circ}$; $7,3996^{\circ}$ dan $30,4499^{\circ}$. Kemudian untuk pos [$^{\circ}2\theta$] $44,283^{\circ}$ berturut-turut intensitasnya yaitu : 0° ; $5,0739^{\circ}$; $5,2966^{\circ}$; dan $6,5515^{\circ}$.

Perhitungan persen kristalinitas terhadap keempat produk hasil sintesis berdasarkan penelitian sebelumnya (Rayalu et al.,2005). Nilai persen kristalinitas ditunjukkan pada tabel 2.

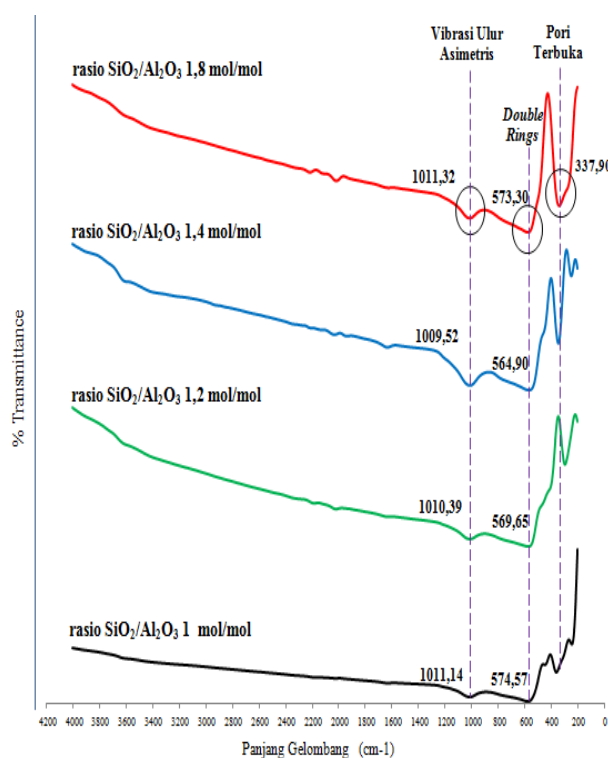
Tabel 2. Persen kristalinitas zeolit LTA

Sampel	Persen kristalinitas (%)
Zeolit A 1 mol/mol	17,5711
Zeolit A 1,2 mol/mol	23,5455
Zeolit A 1,4 mol/mol	30,8976
Zeolit A 1,8 mol/mol	71,3869

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa persen kristalinitas tertinggi terdapat pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol sebesar 71,3869%. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Ghasemi dkk (2014) dimana laju kristalisasi akan meningkat dengan meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berperan sebagai *precursor*, yaitu pemicu utama terbentuknya struktur kristal zeolit, yang diawali dengan melarutnya Si dan Al kemudian terjadi pembentukan gel aluminasilikat dan selanjutnya terbentuklah struktur kristal zeolit. Dengan meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ maka kandungan Si dalam zeolit tersebut semakin banyak, dengan demikian banyaknya Si yang

melarut dalam larutan basa, kristal zeolit yang terbentuk jumlahnya akan semakin banyak, intensitas difraksi 2θ yang semakin tinggi dan memiliki persen kristalinitas yang semakin tinggi juga

3. Analisis Fourier Transmission Infra Red (FTIR)



Gambar 2. Spektrogram FTIR variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol

Spektrogram FTIR zeolit LTA hasil sintesis ditunjukkan pada gambar 2 yang terdiri dari beberapa pita serapan utama yang mewakili karakteristik zeolit LTA yaitu pada panjang gelombang 1000-1500 cm^{-1} adalah vibrasi ulur asimetris O-Si-O atau O-Al-O, 600-700 cm^{-1} adalah vibrasi ulur simetris O-Si-O atau O-Al-O, 550-600 cm^{-1} adalah *double rings*, 400-500 cm^{-1} adalah vibrasi tekuk SiO atau AlO, serta 370-400 cm^{-1} adalah pori terbuka.

Terbentuknya zeolit LTA ditandai dengan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 550 – 600 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi eksternal dari cincin

ganda (*double rings*) D4R atau D6R. Cincin ganda (*double rings*) merupakan ciri khas dari struktur zeolit LTA. Karakteristik *double rings* merupakan jalinan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan yang lain (Saraswati, 2015). Sesuai dengan hasil analisis FTIR yang telah dilakukan untuk sintesis zeolit LTA dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat dikatakan bahwa keempat zeolit tersebut telah berhasil menjadi produk zeolit LTA dengan ciri khas zeolit LTA yang memiliki serapan pita gelombang vibrasi cincin ganda gelombang 550-600 cm^{-1} yang dibuktikan pada gambar 2. Kemudian seiring meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ puncak-puncak spektra FTIR lebih tajam, kuat, dan intensitasnya semakin bertambah. Hal ini disebabkan terjadinya peningkatan derajat polimerisasi dari tetrahedral SiO_4 sehingga munculnya benih (*seed*) dari zeolit LTA dikarenakan kehadiran dari sodium aluminasilika (Tong et al.,2014).

4. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisis SEM diambil pada zeolit LTA untuk rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol. Analisis SEM digunakan untuk mengamati morfologi dari struktur zeolit tersebut. Hasil analisis SEM dapat dilihat pada gambar 3. Dimana seiring meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terlihat bahwa sebagian besar produk yang terbentuk adalah kristal dan sedikit amorf.

5. Analisis Brunaur, Emmet, and Teller (BET)

Hasil analisis BET zeolit sintesis ditunjukkan pada tabel 3 :

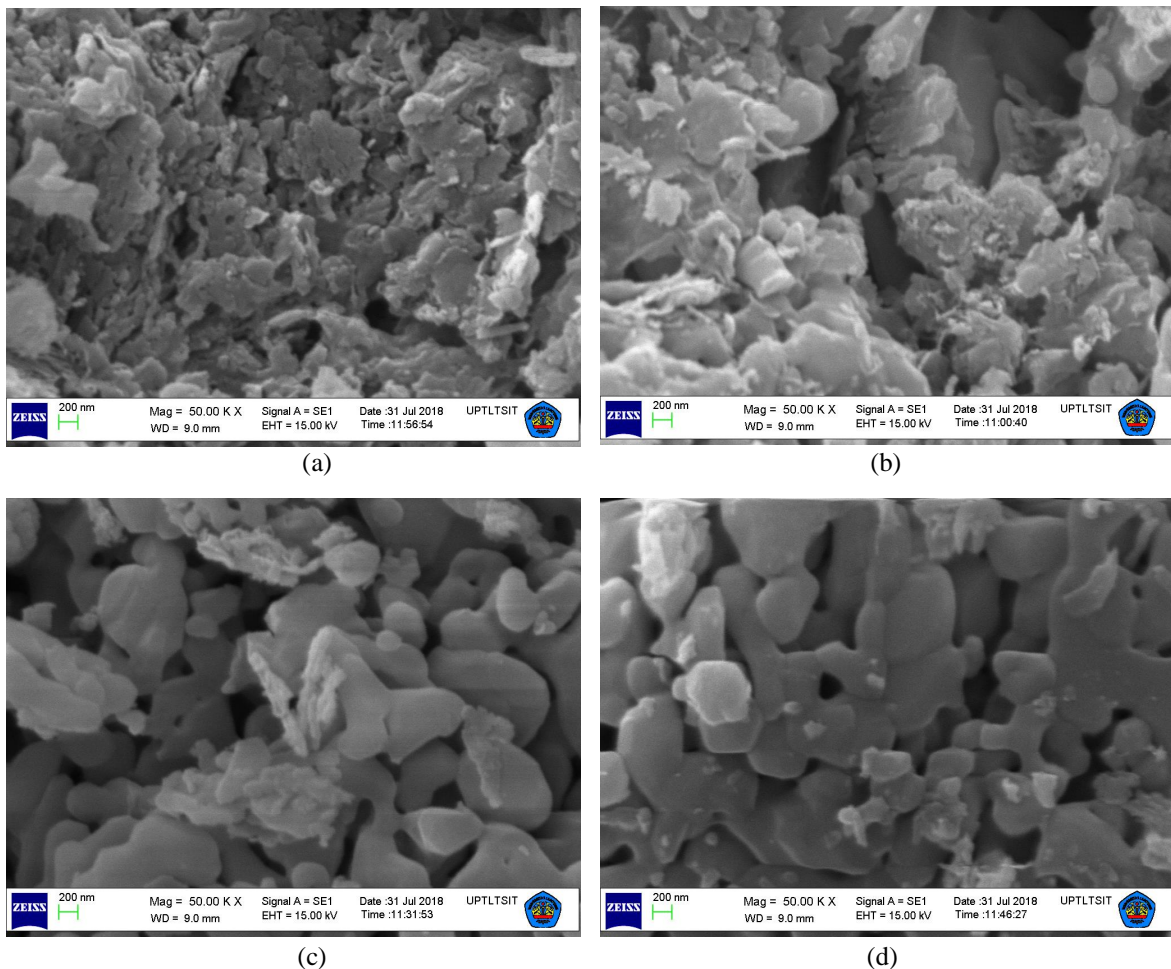
Tabel 3. Hasil BET zeolit LTA

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Luas Permukaan (m^2/g)	Total Volume Pori (cc/g)	Ukuran Pori Rata-Rata (\AA)
1 mol/mol	13,782	0,0378	54,9137
1,2 mol/mol	10,968	0,0316	54,9933
1,4 mol/mol	15,507	0,0460	59,7137
1,8 mol/mol	15,700	0,0483	61,5193

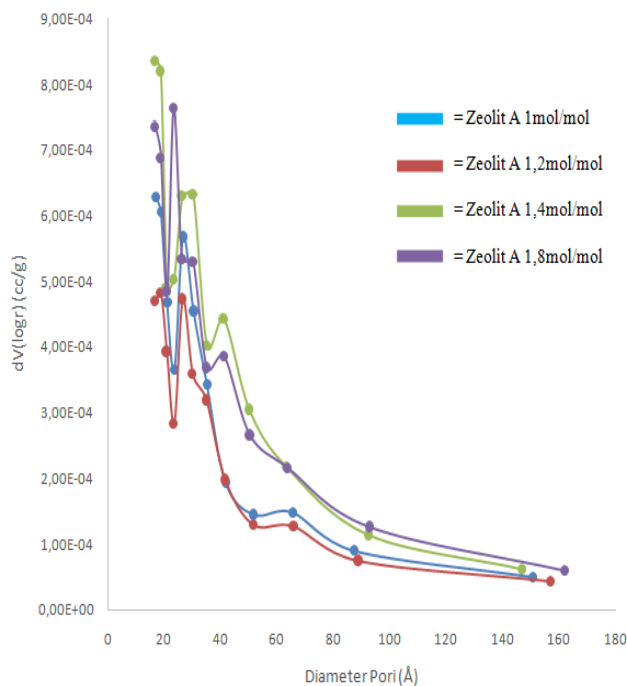
Berdasarkan tabel 3 dapat terlihat jelas bahwa seiring meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ maka luas permukaan, total volume pori, dan ukuran pori rata-

rata semakin besar. Luas permukaan terbesar didapatkan pada produk zeolit LTA dengan persen kristalinitas terbesar pula yaitu rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol sebesar $15,700 \text{ m}^2/\text{g}$. Semakin besar luas permukaan zeolit maka akan semakin besar kemampuannya untuk berinteraksi dan berikatan dengan molekul-molekul air dalam etanol. Dapat dilihat pada tabel 3, ukuran pori rata-rata berkisar antara $50\text{-}65 \text{ \AA}$. Hal tersebut menunjukkan zeolit LTA yang terbentuk merupakan zeolit LTA yang memiliki kisaran diameter mesopori $2\text{-}50 \text{ nm}$ atau $20\text{-}500 \text{ \AA}$ (Gregg dan Sing, 1982)

Karakteristik padatan berpori meso juga dapat dilihat dari data grafik distribusi ukuran pori dengan menggunakan metode BJH (*Barret, Joiner, Halenda*) adsorpsi dan desorpsi yang ditunjukkan pada gambar 4. Berikut ini adalah grafik distribusi ukuran pori yang didapat dari hubungan perubahan volume pori per gram sampel terhadap diameter pori (\AA) adsorpsi dan desorpsi yang didapat dari data distribusi ukuran pori sampel zeolit LTA untuk variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar $1 : 1,2 : 1,4$ dan $1,8 \text{ mol/mol}$.



Gambar 3. Hasil SEM zeolit LTA rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (a) 1 mol/mol (b) 1,2 mol/mol (c) 1,4 mol/mol (d) 1,8 mol/mol

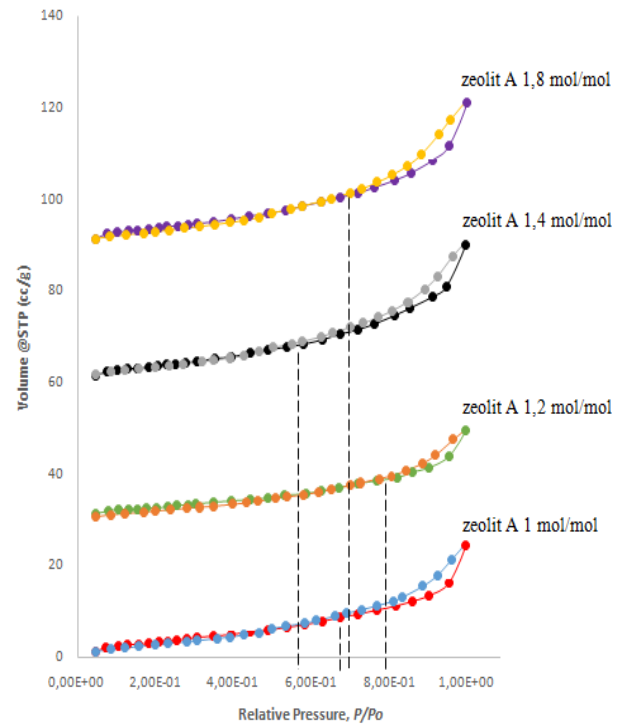


Gambar 4. Grafik distribusi ukuran pori

Distribusi ukuran pori pada gambar 4 menunjukkan bahwa zeolit LTA tersebut memiliki ukuran pori yang tidak seragam namun masih berada pada rentan mesopori yaitu 20\AA - 500\AA .

Pada rentang 42\AA - 160\AA , ukuran pori yang terbentuk besar sedangkan volume pori yang terbentuk kecil. Jika volume pori semakin kecil, maka daya tampung senyawa yang terjerap dalam pori-pori zeolit akan semakin kecil juga. Ukuran pori juga akan mempengaruhi selektifitas zeolit terhadap senyawa yang akan masuk ke dalam rongga zeolit.

Proses analisis material mikropori maupun mesopori dapat diketahui melalui metode grafik isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen berdasarkan nilai perbandingan P/P_0 (mmHg) terhadap volume N_2 per gram sampel (cc/g) yang ditunjukkan pada gambar 5.



Keterangan :

— = Adsorpsi — = Desorpsi

Gambar 5. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi

Dari grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi nitrogen di semua sampel zeolit LTA memperlihatkan pola yang sejenis dimana ada lonjakan kenaikan secara cepat pada tekanan relatif P/P_0 rendah, lalu melambat pada pertengahan dan adanya lonjakan kenaikan dengan cepat pada tekanan mencapai P/P_0 sekitar 0,7 sampai 0,8 (mendekati 1). Kenaikan pertama diakibatkan oleh molekul gas yang teradsorpsi berkontak dengan daerah berenergi pada permukaan padatan. Proses pengisian ini membentuk lapisan tunggal, dimana penambahan molekul gas terjadi saat permukaan diisi oleh molekul gas dan membentuk lapisan tunggal pada daerah P/P_0 lebih tinggi. Pertambahan ini berdampak terbentuknya lapisan berlapis (*multilayer*) saat akhir pengisian, terjadi kondensasi molekul gas yang teradsorpsi, selain itu juga terlihat adanya *loop histerisis* pada daerah pertengahan

(Hartanto, 2011). Percabangan antara garis desorpsi dan adsorpsi disebut *histerisis*. Percabangan ini dapat terjadi dikarenakan adanya kondensasi yang tertunda sehingga mengakibatkan fasa adsorpsi menjadi metastabil. Umumnya peristiwa ini dikaitkan dengan kondensasi kapiler. Kondensasi yang tertunda mengakibatkan adsorpsi yang bercabang dan membuat *loop histerisis*. Hal ini dapat terjadi karena tidak adanya kesetimbangan termodinamika yang tercapai selama proses adsorpsi berlangsung (Thommes et.al., 2015)

Berdasarkan klasifikasi IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), zeolit LTA sintesis memiliki percabangan atau *loop histerisis* tipe H3 yang menunjukkan bentuk pori celah lebar. Percabangan tersebut diakibatkan oleh fenomena kondensasi kapiler yang terjadi di dalam pori material. Ada dua ciri khas dari tipe H3 loop, yaitu cabang adsorpsi menyerupai isoterm Tipe II, batas bawah cabang desorpsi biasanya terletak pada rongga yang diinduksi oleh P/P_0 (Thommes et al., 2015)

6. Uji Dehidrasi-Adsorptif Zeolit LTA Hasil Sintesis pada Campuran Etanol-Air

Penelitian ini juga dilakukan uji adsorpsi terhadap air dalam etanol pada variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 : 1,2 : 1,4 dan 1,8 mol/mol. Salah satu komponen yang terdapat dalam etanol adalah air yang merupakan fasa teradsorpsi. Air bersifat polar dan sangat mudah teradsorpsi pada permukaan zeolit sehingga air mengisi rongga-rongga di dalam kristal zeolit. Begitu pula dengan zeolit LTA mengandung saluran terbuka yang cukup besar sehingga memudahkan air untuk bergerak keluar masuk struktur kristal. Selanjutnya untuk mengetahui nilai persen penyerapan air dari etanol dapat dilihat pada tabel 4, yang merupakan hasil adsorpsi pada setiap run untuk masing-masing rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan kadar etanol awal 96% .

Dilihat pada tabel 4 bahwa dengan meningkatnya kadar air yang terjerap, maka kemurnian etanol akan semakin tinggi. Kemudian didapatkan hasil terbaik adsorpsi campuran etanol-air yaitu pada zeolit LTA rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol dengan

kadar etanol 99,5668 % (w/w) dan persentase penyerapan air sebesar 91,1549 %. Ini merupakan penyerapan air terbesar dibandingkan 3 zeolit LTA lainnya.

Kemampuan zeolit mengadsorpsi suatu zat sangat bergantung pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ rendah (> 2), zeolit bersifat hidrofilik. Zeolit yang bersifat hidrofilik tersebut mempunyai afinitas tinggi terhadap air dan senyawa polar lainnya, sehingga semakin selektif dalam menyerap air lebih banyak. Sebaliknya jika rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ rendah (< 2), maka zeolit bersifat hidrofobik yang mempunyai afinitas tinggi terhadap senyawa-senyawa non polar (Yuliusman dkk., 2013). Maka, zeolit LTA rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol dengan konsentrasi akhir etanol sebesar 99,5668 % dapat dikatakan bahwa zeolit LTA tersebut dapat mengadsorb air dari campuran etanol-air hingga mencapai kemurnian 99 % (w/w) dan dapat dikatakan sebagai *Fuel Grade Etanol* (FGE)

Tabel 4. Hasil adsorpsi zeolit LTA

Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Kadar Etanol (w/w)	Penyerapan Air %
1 mol/mol	96,9214	37,1449
1,2 mol/mol	97,1368	41,5423
1,4 mol/mol	97,3160	45,2001
1,8 mol/mol	99,5668	91,1549

7. Model Isoterm Adsorpsi

Dalam menentukan pemodelan isoterm adsorpsi dan kapasitas adsorpsi dilakukan uji adsorpsi dengan 5 variasi konsentrasi etanol-air yang berbeda selama waktu optimum (50 menit) pada adsorben terbaik zeolit LTA $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol. Sehingga data yang ditunjukkan pada tabel 5 :

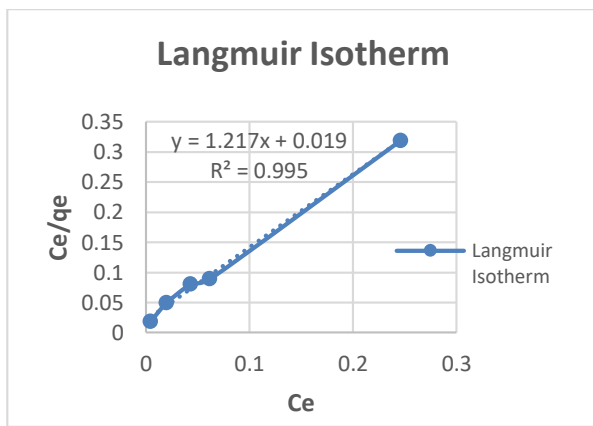
Tabel 5. Hasil dehidrasi-adsorptif zeolit LTA pada 5 variasi konsentrasi etanol-air

Campuran Etanol-Air	C_0 (gr/mL)	C_e (gr/mL)	q_e (gr/gr)
70% - 30%	0,3	0,2460	0,7699
80% - 20%	0,2	0,0618	0,6909
85% - 15%	0,15	0,0431	0,5343
90% - 10%	0,1	0,0200	0,3996
95,1% - 4,9%	0,049	0,0043	0,2233

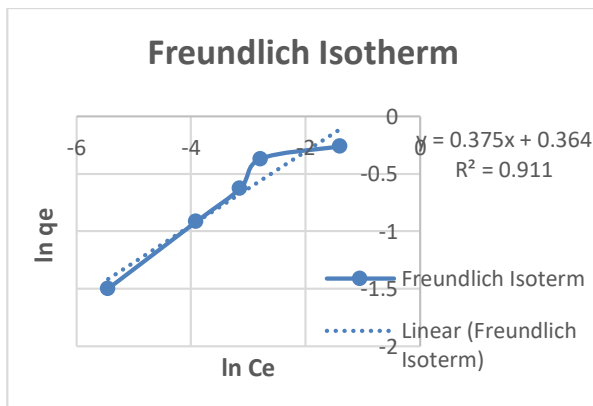
Keterangan :

- Co : Konsentrasi awal larutan
- Ce : Konsentrasi larutan pada kesetimbangan
- qe : Jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan

Dari data pada tabel 5 dapat digunakan untuk menentukan model isoterm yang sesuai dengan adsorpsi etanol-air, dimana perhitungan model isoterm tersebut menggunakan program MS.Excel yang ditunjukkan pada gambar 6 :



(a)



(b)

Gambar 6. Kurva linierisasi (a) Isoterm Langmuir (b) Isoterm Freundlich

Berdasarkan grafik pada gambar 6 terlihat bahwa proses dehidrasi-adsorptif etanol-air mengikuti model adsorpsi isoterm Langmuir, dengan nilai R^2 yang mendekati angka 1 yaitu 0,995 ; intensitas adsorpsi/ K_a sebesar 0,0231 ; dan kapasitas adsorpsi/ q_m sebesar 0,8217 mg/g. Model isotherm

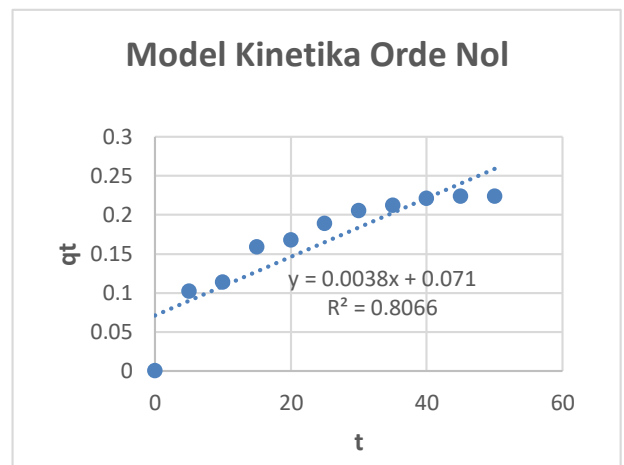
Langmuir mengasumsikan bahwa monolayer adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorben memiliki spesifik area (situs aktif) yang terbatas, dimana sekali situs aktif adsorben ditempati maka adsorpsi lebih lanjut tidak dapat terjadi pada area tersebut. Secara teoritis, apabila kejenuhan dari situs aktif tercapai maka penyerapan lebih lanjut tidak dapat terjadi lagi. Hal ini disebabkan karena konsentrasi air yang ada di *bulk* sudah sama dengan yang ada di permukaan adsorben, sehingga *driving force* untuk melakukan transfer massa sudah sangat kecil, kondisi ini yang diukur sebagai konsentrasi kesetimbangan.

8. Kinetika Adsorpsi

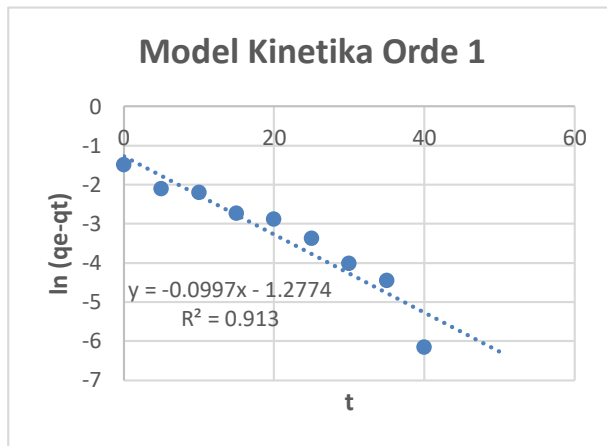
Model kinetika adsorpsi dapat ditulis dalam persamaan berikut :

- a. Orde 0
 $q_t = -k_0t + q_e$ (5)
- b. Orde 1
 $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1t$ (6)
- c. Orde 2
 $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2q_e^2} + \frac{t}{q_e}$ (7)
- d. Orde 3
 $\frac{1}{q_t^2} = 2k_3t + \frac{1}{q_e^2}$ (8)

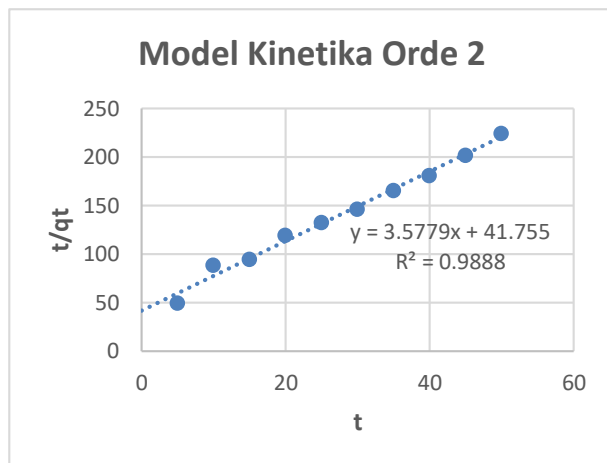
Dengan menggunakan persamaan (5), (6), (7), (8) dan program MS.Excel didapatkan grafik pada masing-masing orde reaksi yang ditunjukkan pada gambar 7 sebagai berikut :



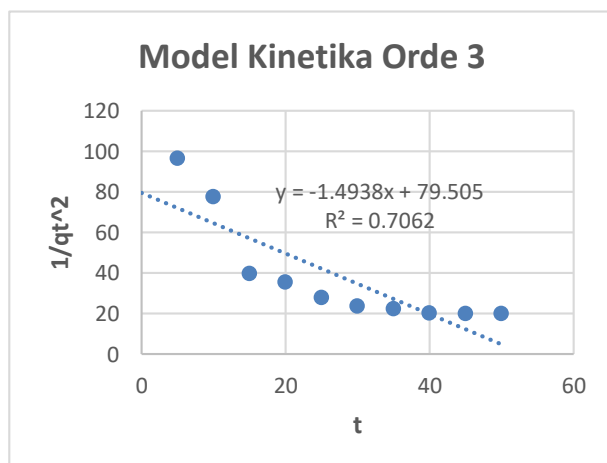
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. Model Kinetika (a) Orde 0 (b) Orde 1
(c) Orde 2 (d) Orde 3

Berdasarkan gambar 7 dapat ditentukan nilai konstanta laju reaksi (k), nilai koefisien korelasi (R^2), dan nilai q_e yang ditunjukkan pada tabel 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Kinetika orde reaksi

Parameter	Orde 0	Orde 1	Orde 2	Orde 3
R^2	0,806	0,912	0,988	0,706
k g/(min-mg)	0,003	0,099	0,3065	1,7885
$q_e(\text{exp})$ g/g		0,2232		
$q_e(\text{teoritis})$ g/g	0,3732	0,1112	0,2695	-0,0793

Adsorpsi etanol-air oleh zeolit LTA rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol mengikuti model kinetika orde kedua. Hal ini dapat dilihat dari nilai R^2 mendekati 1, mengikuti plot grafik yang dilihat dari model linierisasi yang benar dan membandingkan nilai $q_e(\text{teoritis})$ yang mendekati dengan nilai $q_e(\text{eksperimen})$. Dari plot grafik pada gambar 7, dapat dilihat bahwa model kinetika adsorpsi orde kesatu dan orde kedua mengikuti model linierisasi yang benar, dimana untuk orde kesatu grafik linierisasi cenderung turun sedangkan untuk orde kedua grafik linierisasi cenderung naik. Sedangkan untuk orde nol dan orde ketiga tidak mengikuti kaidah linierisasi, dimana pada grafik orde nol seharusnya stabil datar dan untuk orde ketiga seharusnya cenderung naik. Kemudian dapat dilihat juga bahwa berdasarkan nilai R^2 . Yang memiliki nilai R^2 mendekati 1 daripada orde yang lainnya yaitu model kinetika orde kedua sebesar 0,988. Selanjutnya dilihat dari nilai q_e . Dimana nilai $q_e(\text{eksperimen})$ sebesar 0,2232 g/g, sehingga dari masing-masing orde, nilai q_e yang mendekati dengan nilai $q_e(\text{eksperimen})$ yaitu model kinetika orde kedua sebesar 0,2695 g/g. Dengan demikian berdasarkan nilai R^2 , kaidah linierisasi grafik, dan pendekatan nilai $q_e(\text{teoritis})$ terhadap nilai $q_e(\text{eksperimen})$ dapat dikatakan bahwa adsorpsi etanol-air oleh zeolit LTA rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol mengikuti model kinetika orde kedua.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi terhadap keempat produk zeolit dengan masing-masing rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 1 mol/mol; 1,2 mol/mol; 1,4 mol/mol; dan 1,8 mol/mol menunjukkan bahwa telah terbentuk produk utama berupa zeolit LTA. Persen kristalinitas tertinggi diperoleh pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 1,8 mol/mol sebesar 71,39 %. Hasil uji performa terhadap adsorpsi dehidrasi air dalam etanol menunjukkan kadar akhir etanol diperoleh sebesar 99,56 % yang dapat dikatakan sebagai *Fuel Grade Etanol* (FGE). Hasil adsorpsi isoterm mengikuti model isoterm langmuir dan proses adsorpsi mengikuti model kinetika orde kedua dengan nilai koefisien relasi (R^2) yaitu 0,988 dan nilai konstanta laju reaksi sebesar 0,3065 g/(min-mg).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lampung yang telah memberi dukungan finansial terhadap penelitian ini melalui program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) Unila 2018 dengan kontrak No. 1480/UN26.21/PN/2018

DAFTAR PUSTAKA

- F.Tong., W. Ji., M. Li., C. Zeng., & L. Zhang. (2014). Investigation of The Crystallization of Zeolite A from Hydrogels Aged Under High Pressure,” *CrystEngComm*, vol. 16, no. 36, pp. 8563–8569
- Ghasemi, Z., dan Habibollah, Y. (2014). Preparation and Characterization of Nanozeolite NaA From Rice Husk At Room Temperature Without Organic Additives. *Hindawi Publishing Corporation Journal Of Nanomaterials*. 2(3) : 267 – 279
- Ginting, Simparmin Br., Sebastian Djoni Syukur., & Yeni Yulia. (2017). Kombinasi Adsorben Biji Kelor-Zeolit Alam Lampung untuk Meningkatkan Efektivitas Penjerapan Logam Pb dalam Air secara Kontinu pada Kolom Fixed Bed Adsorber. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(11),1-11
- Gregg SJ., Sing KSW. (1982). *Adsorption Surface Area and Porosity*. 2nd Edition, London : Academic Press.
- Hartanto, Djoko., Tri Esti Purbaningias., Hamzah Fansuri., Didik Prasetyo. (2011). Karakterisasi Struktur Pori dan Morfologi ZSM-2 Mesopori yang Disintesis dengan Variasi Waktu Aging. *Jurnal ILMU DASAR*, 12(1), 80-90
- I, Saraswati. (2015). Zeolite-A Synthesis from Glass. *J Sains dan Mat.*, vol. 23, no. 4, pp. 112–115, 2015
- K. S. Hui & C. Y. H. Chao. (2005). Effects of Step-Change of Synthesis Temperature on Synthesis of Zeolite 4A from Coal Fly Ash. *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 88, no. 1–3, pp. 145–151, 2006
- Khaidir. (2011). Modifikasi Zeoli Alam Sebagai Material Molecular Sieve dan Aplikasinya pada Proses Dehidrasi Bioetanol. Thesis, Institut Pertanian Bogor
- M.Mirfendereski & T. Mohammadi. (2016). Effects of Synthesis Parameters on the Characteristics of Naa Type Zeolite Nanoparticles. In *Proceedings of the World Congress on Recent Advances in Nanotechnology (RAN'16)*, pp. 1–8
- Nikmah, Syukuri.R.A., Fansuri, H., & Widiastuti. (2008). Pengaruh Waktu dan Perbandingan Si/Al Terhadap Pembentukan Zeolit A Dari Abu Dasar Bebas Karbon Dari PLTU PT. IPMOMI Dengan Metode Hidrotermal. *Makalah Seminar Nasional Kimia*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. ISSN : 1411-6723
- Perry et al . (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th ed., McGraw-Hill Companies. Inc., New York
- Rahman, M.M.N., Hasnida dan Wan, N.W.B. (2015). Preparation of Zeolite Y Using Local Raw Material Rice Husk as a Silica Source. *Journal of Scientific Research*, 1 (2) : 285-291
- S. S. Rayalu., J. S. Udhoji., S. U. Meshram., R. R. Naidu., and S. Devotta. (2005). Estimation of Crystallinity in Flyash-Based Zeolite-A Using XRD and IR spectroscopy. *Curr. Sci.*, vol. 89, no. 12, pp. 2147–2151
- Sutarno., Yateman Arryanto., Stefani Wigati. (2009). Pengaruh Rasio Si/Al Larutan Prekursor pada Karakter Struktur MCM-41 Dari Abu Layang. *Indonesian Journal Of Chemistry*. 3(2), 126 -134 (2). Chemistry Departement, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Gadjah Mada, Yogyakarta University
- Thommes, Matthias., Katsumi Kaneko., Alexander V. Neimark., James P. Olivier., Fransisco Rodriguez-

- Reinoso., Jean Rouquerol., & Kenneth S.W.Sing. (2015). Physisorption of Gases, with Special Reference to the Evaluation of Surface Area and Pore Size Distribution (IUPAC Technical Report). *Pure Applied Chemistry*, 87 (9-10), 1051-1069
- V. J. Chopade., Y. P. Khandetod., & a G. Mohod. (2015). Dehydration of Ethanol-Water Mixture Using 3a Zeolite Adsorbent. *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng*, vol. 5, no. 11, pp. 3–6
- Wang, C.F., Li, J.S., Wang, L.J., & Sun, X.Y. (2008). Influence of NaOH Concentrations on Synthesis of Pure Form Zeolit A From Fly Ash Using Two-Stage Method. *Journal of Hozardous Materials*. Vol 155, pp 58-64
- Yanagida, R.Y., Amaro, A.A., Seff, K., *J. Phys. Chem.*(1973). Sodium Aluminium Sillicate. 01-071-1557. ICSD Pattern Inorganic Mineral Zeolit
- Yuliusman, dkk. (2013). Pemilihan Adsorben Untuk Penyerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isometric Langmuir. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok